

LAPORAN PENELITIAN



**PENGARUH PENAMBAHAN ELEKTRODA PELAT PADA
FINIAL TERHADAP TINGKAT TEGANGAN KORONA DAN
TEGANGAN TEMBUS**

Oleh:

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. (Ketua)
Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. (Anggota)
Drs. Ir. Moch Dhoir, M.T. (Anggota)
Bagus Wahyudi (Anggota)

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2008**



HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : PENGARUH PENAMBAHAN ELEKTRODA PELAT PADA FINIAL TERHADAP TINGKAT TEGANGAN KORONA DAN TEGANGAN TEMBUS
2. Ketua Peneliti
 - a. Nama Lengkap : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. ✓
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. NIP : 132 327 413
 - d. Jabatan Struktural : -
 - e. Jabatan Fungsional/Golongan : Asisten Ahli/IIIb
 - f. Fakultas/Jurusan : Teknik/Elektro
 - g. Pusat Penelitian : BPP FT UB
 - h. Alamat : Jl. MT Haryono 167 Malang 65145
 - i. Telpon/Faksimili : 0341-553286
 - j. E-mail : hadiaramsara@yahoo.com
3. Anggota Pelaksana
 - a. Nama Anggota Pelaksana : 1. Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.
2. Drs. Ir. Moch Dhofir, M.T.
 - b. Mahasiswa Asisten Peneliti : Bagus Wahyudi
4. Lokasi Penelitian : Malang
3. Jangka Waktu Penelitian : 6 bulan
4. Biaya Penelitian : Rp. 3000.000,00 (tiga juta rupiah)
5. Sumber Dana : Mandiri

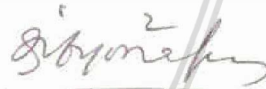
Mengetahui,
Ketua BPP Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya



Dr. Ir. Arief Rachmansyah
NIP. 132 059 302

Malang, September 2008

Ketua Peneliti,



Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 132 327 413

Menyetujui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya



Ir. Intam Zaky, M.T.
NIP. 130 604 494

IDENTITAS DAN URAIAN UMUM PENELITIAN

1. Judul Penelitian:

PENGARUH PENAMBAHAN ELEKTRODA PELAT PADA FINIAL TERHADAP TINGKAT TEGANGAN KORONA DAN TEGANGAN TEMBUS

2. Ketua Peneliti

- a) Nama lengkap : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.
- b) Bidang keahlian : Teknik Energi Elektrik, Sistem Komputer dan Informatika, Power System Engineering
- c) Jabatan Struktural : -
- d) Jabatan Fungsional/Golongan : Asisten Ahli/IIIb
- e) Unit kerja : Fakultas Teknik
- f) Alamat surat : Jl. MT. Haryono 167, Malang
- g) Telpon/Faks : 0341-553286
- h) E-mail : hadiaramsara@yahoo.com

3. Anggota Tim Peneliti

No	Nama dan gelar akademik	Bidang Keahlian	Alokasi waktu
1	Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.	Teknik Energi Elektrik, Energi, Elektromeknik	4 jam/minggu
2	Drs. Ir. Moch Dhofir, M.T.	Teknik Energi Elektrik, Teknik Tegangan Tinggi	4 jam/minggu
3	Bagus Wahyudi	Teknik Energi Elektrik	4 jam/minggu

4. Objek penelitian

PENGARUH PENAMBAHAN ELEKTRODA PELAT PADA FINIAL TERHADAP TINGKAT TEGANGAN KORONA DAN TEGANGAN TEMBUS

5. Masa pelaksanaan penelitian:

- Mulai : Maret 2008
- Berakhir : Agustus 2008

6. Besar anggaran: Rp. 3.000.000,-

7. Lokasi penelitian: Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro UB

8. Hasil yang ditargetkan:

Kajian terhadap pengaruh elektroda pelat pada finial terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus

9. Institusi lain yang terlibat: -

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya akhirnya Laporan Penelitian tentang *Pengaruh Penambahan Elektroda Pelat pada Finial terhadap Tingkat Tegangan Korona dan Tegangan Tembus* ini dapat diselesaikan.

Maksud dilakukannya studi ini adalah untuk melakukan kajian mengenai pengaruh penambahan elektroda pelat pada finial terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus, yang dapat dimanfaatkan dalam perancangan peralatan-peralatan penangkap petir.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, khususnya Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, yang telah memungkinkan dilakukannya penelitian ini. Kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung kelancaran pelaksanaan penelitian ini juga diucapkan terima kasih.

Kami menyadari bahwa Laporan Penelitian ini masih kurang sempurna, karena masih mengandung kekurangan dan kelemahan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun akan kami terima dengan senang hati.

Malang, September 2008

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.
Ketua Tim Peneliti

HALAMAN PENGESAHAN	2
IDENTITAS DAN URAIAN UMUM PENELITIAN	3
KATA PENGANTAR	4
DAFTAR ISI	5
RINGKASAN	7
I. PENDAHULUAN	8
1.1 Latar belakang	8
1.2 Perumusan Masalah	8
1.3 Batasan Masalah	9
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	9
1.5 Tujuan Penelitian	9
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	10
II. TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Petir	11
2.2 Gejala Terjadinya Petir	11
2.3 Penangkap Petir Franklin	13
2.4 Intensitas Medan Listrik Penangkap Petir Franklin	13
2.5 Distribusi Medan Listrik	14
2.6 Faktor Efisiensi Medan Listrik	15
2.7 Potensial Medan Listrik	16
2.9 Distorsi Medan Listrik	18
2.10 Tegangan Tembus Pada Kondisi Kerapatan Udara Standar	18
2.11 Korona	19
2.12 Pembangkitan Tegangan Tinggi Scarah	20
2.13 Metode Pemetaan Eksperimental	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Studi Pustaka	23
3.2 Objek Uji	23
3.3 Pengujian	24
3.5 Langkah-langkah Pengujian	26
3.6 Analisis Data	26
3.7 Penarikan Kesimpulan Hasil Penelitian	27
IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Tegangan Korona dan Tegangan Tembus Tanpa Elektroda Pelat	28
4.2 Pemetaan Garis Ekipotensial Menggunakan Kertas Konduktif	32
4.2 Bentuk Distribusi Ekipotensial Tanpa Menggunakan Elektroda Pelat	32
4.2.2 Bentuk Distribusi Ekipotensial Menggunakan Elektroda Pelat	35
4.2.2.1 Penambahan elektroda pelat dengan variabel letak pelat terhadap ujung finial	35
4.2.2.2 Penambahan elektroda pelat dengan variabel luasan pelat	41
4.3 Pengaruh Bentuk Elektroda Pelat terhadap Tingkat Tegangan	46
4.4 Pengaruh Tebal Elektroda Pelat terhadap Tingkat Tegangan	48
4.5 Pengaruh Luas Elektroda Pelat terhadap Tingkat Tegangan	50
4.6 Pengaruh Letak Elektroda Pelat pada Finial terhadap Tingkat Tegangan	52
V. KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55

5.2 Saran.....55

DAFTAR PUSTAKA56

CURRICULUM VITAE – Dr. RINI NUR HASANAH, S.T., M.Sc......57

CURRICULUM VITAE – Drs. Ir. MOCH DHOFIR, M.T......59



Dalam sebuah instalasi bangunan diperlukan suatu peralatan proteksi baik internal maupun eksternal untuk mengatasi gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir. Penangkap petir merupakan bagian utama dari sistem proteksi eksternal. Penangkap petir atau finial berupa konduktor batang tegak memiliki konstruksi berupa sisi ujung finialnya secara umum berbentuk metal yang runcing sebagai pengumpul muatan listrik. Pada penelitian ini dilakukan pengujian finial dengan penambahan elektroda pelat, selanjutnya akan diamati pengaruhnya terhadap tegangan korona dan tegangan tembus. Pengujian tegangan korona dan tembus menggunakan tegangan tinggi searah polaritas negatif dengan mengatur jarak sela elektroda (s) dari 20 mm, 25 mm, 30 mm, hingga 50 mm. Selanjutnya dilakukan penggambaran distribusi medan listrik objek uji secara eksperimen dengan menggunakan kertas konduktif

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar luasan elektroda pelat maka semakin kecil tegangan korona (U_c) dan semakin besar tegangan tembus (U_d). Semakin dekat letak elektroda pelat terhadap ujung finial maka semakin kecil tegangan korona (U_c) dan semakin besar tegangan tembus (U_d).

Kata Kunci: finial, elektroda pelat, tegangan korona, tegangan tembus.



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Keberadaan alat pelindung terhadap tegangan lebih surja petir telah menjadi suatu keharusan mengingat Indonesia sebagai negara khatulistiwa mempunyai tingkat curah hujan dan hari guruh yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa ancaman terhadap gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir cukup besar sehingga sering mengancam keselamatan manusia dan peralatan - peralatan elektronik yang terdapat dalam sebuah bangunan.

Peralatan proteksi baik eksternal maupun internal sangat diperlukan untuk menjamin keamanan dalam mengatasi gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir. Peralatan proteksi eksternal terdiri atas tiang penangkap petir (finial), penghantar penyalur (down conductor) dan sistem pentanahan.

Peralatan proteksi eksternal yang sering dipakai adalah tipe Franklin berupa elektroda penangkap petir yang berbentuk batang logam tegak yang ujungnya runcing. Selanjutnya penangkap petir tipe Franklin dapat dikembangkan. Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan dengan menambahkan elektroda pelat dan akan diamati karakteristik tembusnya.

Fenomena tembus listrik seperti sambaran petir sangat ditentukan oleh bentuk distribusi medan listrik dalam ruang. Sedangkan distribusi medan listrik sangat ditentukan oleh bentuk elektroda. Penambahan elektroda pelat ini akan merubah bentuk dari ekipotensial dan medan listrik pada finial. Dalam penelitian ini akan diuji penambahan elektroda pelat tersebut dan dianalisis di laboratorium sehingga diketahui sejauh mana pengaruhnya terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh penambahan elektroda pelat pada finial terhadap tegangan korona dan tegangan tembus. Secara lebih terinci, permasalahan yang ada adalah bagaimana pengaruh penambahan elektroda pelat pada finial terhadap intensitas tegangan korona dan tegangan tembus.

1.3 Batasan Masalah

Agar materi yang dibahas dan dianalisis dalam penelitian ini lebih terfokus pada rumusan masalah di atas, perlu dibuat beberapa batasan sebagai berikut.

- Elektroda utama (finial) adalah elektroda franklin yaitu konduktor dengan ujung runcing sedangkan awan dirancang dari pelat tipis dengan ukuran 100 cm x 60 cm dan tebal 1 mm.
- Elektroda pelat berbentuk lingkaran, persegi empat dan segitiga samasisi yang terbuat dari besi dengan tebal 0,5 mm & 2 mm.
- Pengujian dilakukan dengan tegangan tinggi searah (DC) polaritas negatif.
- Variabel pada elektroda pelat adalah bentuk elektroda pelat, luas elektroda pelat, tebal elektroda pelat dan letak elektroda pelat dari ujung finial terhadap finial.
- Variabel yang diamati adalah tingkat tegangan korona dan tegangan tembus.
- Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah :

- Menguji dan menganalisis pengaruh variabel bentuk elektroda pelat terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus
- Menguji dan menganalisis pengaruh variabel luas elektroda pelat terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus
- Menguji dan menganalisis pengaruh variabel letak elektroda pelat dari ujung finial terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus
- Menguji dan menganalisis pengaruh variabel tebal elektroda pelat terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus
- Menentukan efisiensi medan listrik (η) dengan adanya penambahan elektroda pelat pada finial.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah untuk menguji dan menganalisis pengaruh penambahan elektroda pelat terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Adapun sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- BAB I : berisi judul penelitian, latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan ruang lingkup.
- BAB II : berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan.
- BAB III : berisi metode penelitian yang akan dilakukan, meliputi obyek penelitian dan teknik pengumpulan data.
- BAB IV : berisi pembahasan dan analisis terhadap masalah yang diajukan dalam penelitian dengan memperhatikan hasil pengujian dan data yang diperoleh.
- BAB V : berisi kesimpulan dari tujuan penelitian yang akan dibuat serta saran dari penulis



II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori-teori tentang petir dan fenomena elektrostatik yang mendasarinya.

2.1 Petir

Petir merupakan salah satu fenomena alam yang terjadi akibat peluahan muatan listrik di atmosfer yang mempunyai arus sangat besar dalam waktu sangat singkat. Fenomena alam ini ditandai dengan suara guruh yang diakibatkan oleh adanya peluahan muatan dalam jumlah yang besar. Peluahan muatan dapat terjadi antara awan dengan awan dan awan dengan bumi yang menyebabkan petir akan menyambar pada obyek di dekatnya dimana dalam setiap sambarannya akan mengalirkan arus petir yang akan menyebabkan kerusakan atau kehancuran pada obyek yang disambar.

2.2 Gejala Terjadinya Petir

Dalam keadaan tertentu, dalam lapisan atmosfer bumi akan ada pergerakan angin keatas membawa udara yang lembab. Karena tekanan udara makin rendah, uap-uap air akan menjadi titik-titik air dan akan membentuk awan.

Dalam awan adakalanya masih terus terjadi pergerakan arus udara ke atas dengan kecepatan tinggi mencapai 120 km/jam. Gerak arus udara ke atas ini dapat membawa butir-butir air yang berat jenisnya rendah. Karena mengalami pendinginan, sebagian butir-butir air akan membeku yang mengakibatkan timbulnya pergerakan udara kebawah pada bagian dalam awan dan mempunyai kecepatan yang cukup tinggi. Jadi ada pergerakan partikel-partikel dalam awan tersebut.

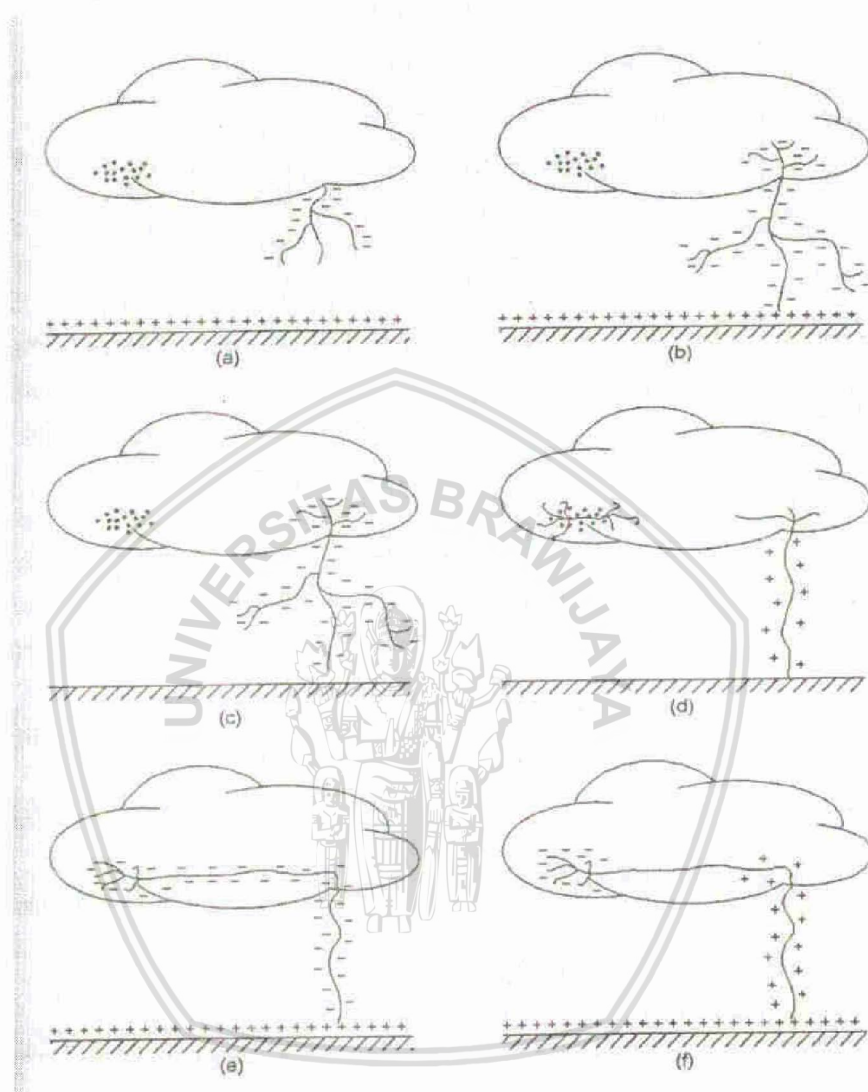
Menurut CTR *Wilson*, ada suatu medan normal yang dapat terjadi pada keadaan cuaca cerah. Medan ini mempunyai arah ke bawah. Intensitas medan listrik itu kira-kira 1 V/cm di permukaan bumi dan 0,02 V/cm pada ketinggian 914.400 cm.

Butir-butir air yang cukup besar yang ada dalam medan tersebut akan terpolarisasi karena induksi, pada bagian atas butir air terkumpul muatan negatif dan pada bagian bawah terkumpul muatan positif.

Dalam keadaan normal, udara mengandung ion-ion positif dan negatif yang terdistribusi secara random. Ion-ion tersebut dapat terjadi karena tumbukan atom-atom, radiasi sinar kosmis dan energi termis.



Karena bagian bawah awan timbul gaya tarik terhadap ion negatif, sedangkan ion-ion positif mengalami gaya tolak akibatnya akan terkumpul muatan negatif. Dengan adanya muatan negatif pada lapisan bawah awan, di permukaan bumi terinduksi muatan positif, maka terbentuk medan listrik antara awan dan permukaan bumi. Bila medan listrik tersebut melebihi kekuatan medan tembus udara akan terjadi pelepasan muatan dan terjadilah petir. Gambar distribusi muatan dengan berbagai langkah dari pelepasan muatan kilat dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Distribusi muatan berbagai tingkat pelepasan pada sambaran kilat.
Sumber: Westinghouse, 1950:548

Keterangan Gambar 2.1:

- Pada salah satu muatan terjadi *stepped leader* yang bergerak menuju bumi.

- b. *Stepped Leader* hampir mencapai bumi, sementara itu bumi menjadi kanal positif yang bergerak ke atas. Kanal ini bertemu dengan *stepped leader* di titik pukulan (*point of strike*).
- c. Sambaran kembali terjadi muatan positif yang bergerak ke atas dengan cepat sekali.
- d. Pusat muatan pertama telah dilepaskan (*discharged*). Kanal muatan positif berkembang menuju pusat muatan kedua.
- e. Pelepasan pusat muatan pertama dengan kedua. Lidah panas bergerak menuju bumi melalui jalan yang telah dilalui oleh sambaran kembali tadi.
- f. Terjadi sambaran kembali yang kedua. Pelepasan terjadi antara bumi dengan muatan negatif di bagian awan.

2.3 Penangkap Petir Franklin

Penangkap petir ini bekerja berdasarkan teori tentang mekanisme sambaran petir yang terjadi, yaitu menjalarnya muatan baik dari awan ke bumi atau sebaliknya. Berdasarkan teori ini, maka Benyamin Franklin membuat eksperimen dengan menempatkan batang logam tegak yang ujungnya dibuat runcing dan diletakkan di bagian tertinggi bangunan yang akan dilindungi.

Tujuan mengapa ujung batang dibuat runcing adalah agar jika terjadi aktifitas penumpukan muatan di awan, maka rapat muatan yang ada pada ujung logam akan relatif lebih besar daripada rapat muatan yang terjadi di bagian lain bangunan sehingga bila terjadi pelepasan muatan atau sambaran, maka ujung logam inilah yang akan menjadi obyek sambaran.

Untuk menyalurkan arus petir yang terjadi, batang logam dihubungkan ke tanah melalui suatu penghantar dengan tahanan yang cukup rendah, dengan tujuan agar arus tidak mengalir melalui bagian gedung yang lain.

2.4 Intensitas Medan Listrik Penangkap Petir Franklin

Gaya listrik yang bertumpu pada satu satuan muatan listrik uji disebut intensitas medan listrik (E). [Hayt, 1982: 36]

$$E = \frac{F}{Q} \quad (2-1)$$

dengan :

E = Intensitas Medan Listrik

F = Gaya Listrik

Q = Muatan Listrik

Satuan intensitas medan listrik sesuai dengan Persamaan (2.1) dinyatakan dalam *Newton* per *Coloumb* (N/C). Gaya listrik didefinisikan oleh Coloumb sebagai gaya antara dua benda yang

sangat kecil dalam vakum atau ruang hampa yang terpisah pada jarak yang besar dibanding dengan ukurannya, berbanding lurus dengan muatan masing-masing benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat. Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum Coloumb, secara matematis ditulis [Hayt, 1982: 35] :

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{R^2} a_{12} \quad (2-2)$$

dengan :

k = Tetapan pembanding ($1/4\pi\epsilon_0$)

ϵ_0 = Permittivitas ruang hampa

R = Jarak muatan

a_{12} = Vektor satuan arah R

Dari Persamaan (2.1) dan Persamaan (2.2) diperoleh persamaan intensitas medan listrik (E) sebesar :

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} a_R \quad (2-3)$$

Di dalam medan listrik diperlukan energi untuk memindahkan muatan titik dari satu titik ke titik lain mendekati sumber. Secara matematis pernyataan tersebut dapat dinyatakan [Hayt, 1982: 100] :

$$W = -Q \int_{awal}^{akhir} E \cdot dL \quad (2-4)$$

dengan :

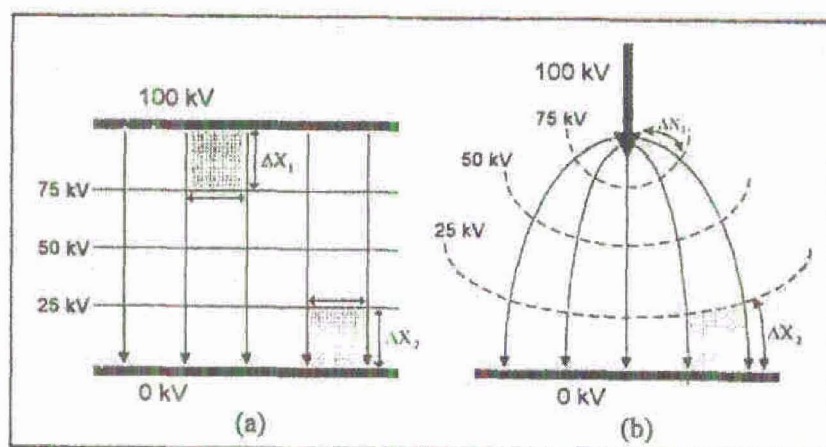
W = Energi

dL = Besaran Panjang

2.5 Distribusi Medan Listrik

Distribusi medan listrik yang homogen terjadi pada susunan elektroda pelat sejajar (Gambar 2.2.a), sedang medan listrik tidak homogen terjadi pada susunan elektroda jarum-piring (Gambar 2.2.b).

Dalam medan homogen, intensitas medan listriknya sama sedang dalam medan tidak homogen intensitas medan listriknya dari titik ke titik tidak sama. Garis ekuipotensial selalu tegak lurus pada garis-garis medan listrik seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Distribusi medan homogen dan tidak homogen
Sumber : Moch. Dhofir, 1997: 2

Bentuk distribusi medan listrik sangat menentukan besarnya intensitas medan listrik pada setiap titik yang artinya juga menentukan besarnya nilai tegangan tembus. Besarnya intensitas medan listrik pada sebuah titik adalah hasil bagi antara beda potensial (ΔU) dan jarak antar dua titik (Δx) seperti yang dinyatakan dalam persamaan 2-5. ΔU ialah beda potensial antara dua titik yang berdekatan, sedangkan Δx adalah jarak antar dua titik yang berdekatan.

Untuk menentukan besarnya intensitas medan listrik digunakan persamaan :

$$E = \frac{\Delta U}{\Delta x} \quad (2-5)$$

dengan:

E = intensitas medan listrik pada sebuah titik (kV/cm)

ΔU = beda potensial antar dua titik yang berdekatan (kV)

Δx = jarak antar dua titik yang berdekatan (cm)

2.6 Faktor Efisiensi Medan Listrik

Bentuk distribusi medan listrik dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu distribusi medan listrik seragam dan tidak seragam. Ukuran seragam tidaknya distribusi medan listrik diantara susunan elektroda dapat diketahui dari nilai efisiensi medan listrik yang didefinisikan Schwaiger yaitu:

$$\eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{maks}} \quad (2-6)$$

Pada Gambar 2.2.b ditunjukkan konfigurasi elektroda jarum-pelat yang mempunyai distribusi medan listrik non homogen atau tak seragam. Artinya, alat uji berupa penangkap petir dan model awan nantinya dapat kita analogikan sebagai konfigurasi elektroda jarum-pelat tersebut. Pada susunan elektroda keping sejajar (Gambar 2.2.a), distribusi medan listriknya homogen sehingga besar $E_{maksimum}$ sama dengan $E_{rata-rata}$. Sebaliknya pada distribusi medan listrik non homogen akan terdapat kuat medan listrik lokal pada daerah tertentu dalam jarak sela yang nilainya lebih besar dari kuat medan listrik rata-ratanya. Dengan demikian, maka batas nilai faktor efisiensi medan listrik untuk berbagai susunan elektroda dengan bentuk geometris tertentu memenuhi syarat:

$$\eta \leq 1 \quad (2-7)$$

Besar faktor efisiensi medan listrik bergantung pada bentuk geometris dari susunan elektroda, yaitu untuk susunan elektroda yang memberikan distribusi medan listrik homogen semisal susunan pelat datar sejajar maka $\eta \approx 1$, sedangkan pada susunan elektroda yang menghasilkan distribusi medan listrik non homogen seperti jarum-pelat, maka nilai $\eta < 1$. Menurut Schwaiger tegangan tembus pada sela elektroda dapat ditentukan yaitu:

$$U_d = E_d \times s \times \eta \quad (2-8)$$

dengan :

U_d = tegangan tembus pada susunan elektroda (kV)

E_d = kuat medan listrik yang menyebabkan terjadi tembus (kV/cm)

s = jarak sela (cm)

2.7 Potensial Medan Listrik

Potensial medan listrik (V) adalah kerja untuk memindahkan satu satuan muatan positif dari satu titik ke titik lain dalam medan listrik. Secara matematis dapat dinyatakan : [Hayt, 1982: 100]

$$V = - \int_{awal}^{akhir} E \cdot dL \quad (2-9)$$

dimana :

V = Potensial Medan listrik

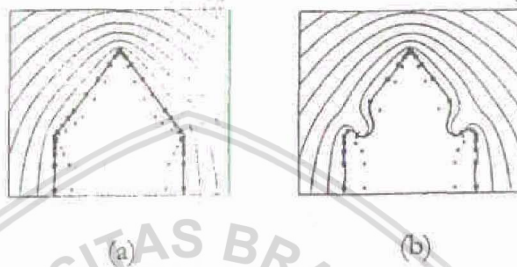
dL = Besaran panjang

repository.ub.ac.id

Dengan menyatakan satuan potensial medan listrik dalam Volt (V) dan satuan panjang dalam satuan meter (m), nampak bahwa satuan intensitas medan listrik (V/m). Dalam setiap perhitungan nilai intensitas medan listrik secara praktis lebih mudah untuk mengetahui parameter dalam besaran sesuai dengan Persamaan (2-9). Dari persamaan di atas juga menunjukkan bahwa pada medan listrik dapat ditentukan beda potensial antara dua buah titik pada arah perubahan intensitas medan listrik.

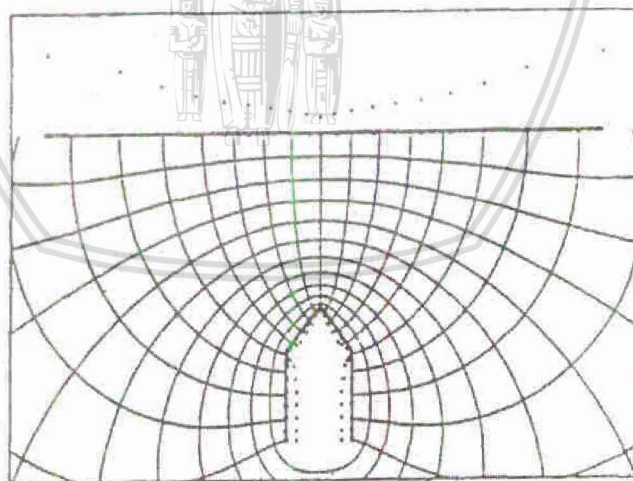
2.8 Pengaruh Bentuk Geometris Elektroda Terhadap Potensial Medan Listrik

Di sekitar elektroda yang bertegangan tinggi terdapat distribusi potensial medan listrik yang ditentukan oleh susunan dan bentuk kontur dari permukaan elektroda. Potensial titik yang sama disekitar elektroda yang bertegangan akan membentuk garis ekipotensial yang mengikuti bentuk kontur dari permukaan elektroda.



Gambar. 2.3. Distribusi garis ekipotensial disekitar elektroda
Sumber : Kind,1995 : 178

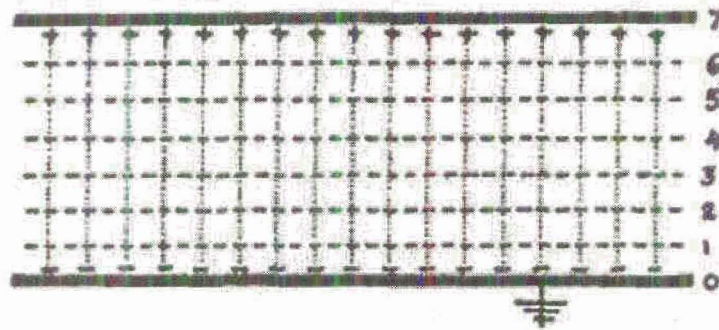
Garis medan listrik yang terdapat di sekitar permukaan elektroda yang bertegangan tegak lurus terhadap garis ekipotensial seperti yang tampak pada gambar (2.4) dibawah ini.



Gambar. 2.4 Garis ekipotensial dan garis medan listrik disekitar elektroda
Sumber : Kind,1995 : 178

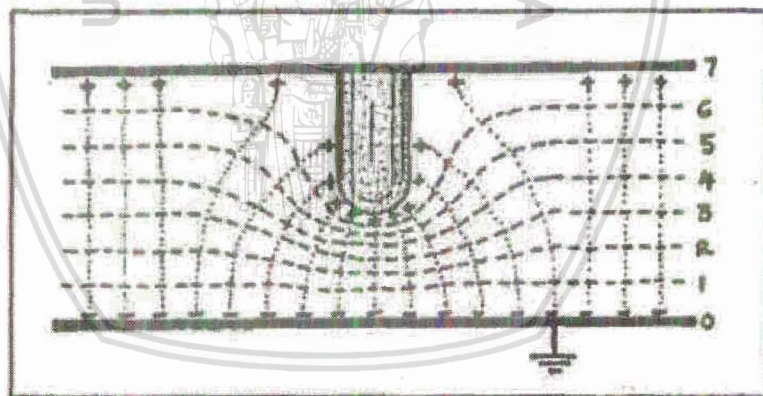
2.9 Distorsi Medan Listrik

Dua buah pelat paralel sejajar yang bertegangan dan mempunyai muatan listrik yang berbeda terlihat pada gambar (2.5). Diantara kedua pelat itu terdapat Medan Listrik dan ekipotensial listrik yang tegak lurus dengan medan listrik. Intensitas medan listrik di setiap titik diantara elektroda sama dengan potensial listrik tetap dan jarak sela elektroda tetap.



Gambar 2.5 Medan listrik homogen diantara dua pelat paralel sejajar
Sumber : Thomas.H.Pratt, 2000:10

Ketika sebuah objek disisipkan dalam sebuah medan listrik, medan listrik itu akan terdistorsi sehingga akan merubah bentuk dari ekipotensial listrik dan medan listrik yang ada sebelumnya. Pada gambar (2.6) dibawah ini penambahan sebuah obyek yang bersifat konduktif pada salah satu pelat menyebabkan garis ekipotensial diantara obyek dengan pelat lainnya menjadi semakin dekat sehingga akan menambah intensitas medan listrik diantara obyek tersebut dengan pelat yang lain.



Gambar 2.6 Medan listrik yang terdistorsi dengan penambahan obyek
Sumber : Thomas.H.Pratt, 2000:11

2.10 Tegangan Tembus Pada Kondisi Kerapatan Udara Standar

Kondisi kerapatan udara sangat bervariasi menurut waktu dan tempat, sehingga karakteristik tembus juga akan terpengaruh akibat kondisi kerapatan udara. Untuk tujuan praktis, maka

karakteristik tembus dapat dikonversikan ke kondisi kerapatan udara standar ($p = 760 \text{ Torr} = 1013 \text{ mbar}$ dan $t = 20^\circ \text{C} = 293^\circ \text{K}$). Maka tegangan tembus pada kondisi kerapatan udara standar dapat dirumuskan :

$$U_d = 8U_{d0} \quad (2-10)$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{p}{760} \frac{293}{273+t} \\ &= 0,386 \frac{p}{273+t} \quad (\text{untuk } p \text{ dalam Torr}) \end{aligned} \quad (2-11)$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{p}{1013} \frac{293}{273+t} \quad (\text{untuk } p \text{ dalam mbar}) \\ &= 0,289 \frac{p}{273+t} \end{aligned} \quad (2-12)$$

dengan substitusi persamaan 2-11 ke dalam persamaan 2-9, didapatkan:

$$U_d = 0,289 \frac{p}{273+t} U_{d0} \quad (2-13)$$

dengan:

U_{d0} = tegangan tembus untuk sela bola menurut Schwaiger pada kerapatan udara standar ($p_0 = 1013 \text{ mbar}$, $t_0 = 20^\circ \text{C}$) (kV)

U_d = tegangan tembus (kV)

δ = faktor koreksi atau disebut sebagai kerapatan udara relatif (0,9-1,1)

p = tekanan udara pada ruangan (mbar)

t = temperatur udara pada ruangan ($^\circ \text{C}$)

2.11 Korona

Korona terjadi karena adanya ionisasi dalam udara yaitu adanya kehilangan elektron dari molekul udara. Oleh karena lepasnya elektron dari ion maka apabila disekitarnya terdapat medan listrik maka elektron-elektron bebas ini mengalami gaya yang mempercepat gerakannya sehingga terjadilah tabrakan dengan molekul lain. Akibatnya ialah timbul elektron-elektron baru. Proses ini berjalan terus menerus dan jumlah elektron dan ion bebas menjadi berlipat ganda bila gradien tegangan cukup besar

Fenomena korona dapat dianalisis dari muatan pada medium gas. Pelepasan muatan listrik umumnya dibangkitkan oleh suatu medan listrik yang mempercepat elektron bebas melalui suatu gas. Jika elektron elektron bebas ini mendapat energi yang cukup dalam medan listrik maka akan dihasilkan ion-ion baru dengan proses ionisasi.



Pertama, elektron terlepas dari permukaan elektroda. Elektron ini menabrak atom didalam gas dan terbentuk ion positif dan terdapat dua elektron dalam gas ini pada proses kedua, selanjutnya terjadi pelipat gandaan muatan di dalam gas itu.

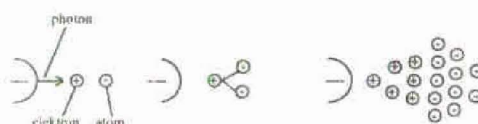
Dasar ionisasi dapat digambarkan dengan proses berikut ini



dimana A : atom

A^+ : ion positif

e : elektron



Gambar. 2.7 Proses pelepasan elektron

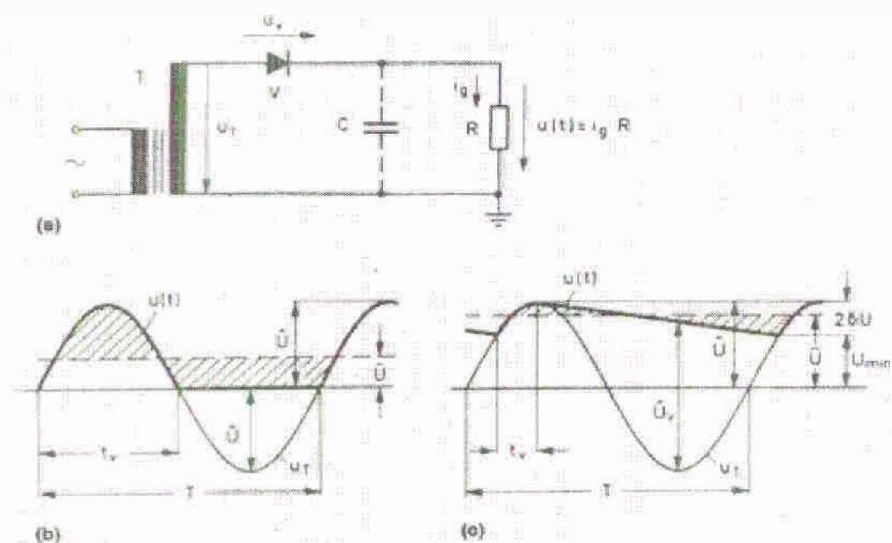
Sumber : Hermagasantos, 1994 : 32

Setelah sebuah elektron bertabrakan dengan sebuah atom maka sebuah elektron pada atom dibebaskan. Kemudian, beberapa elektron berkemungkinan dapat juga membebaskan dua atau lebih elektron. Selanjutnya terjadilah reaksi berantai yang menyebabkan bertambahnya kuantitas elektron secara cepat.

2.12 Pembangkitan Tegangan Tinggi Searah

Pembangkitan tegangan tinggi searah yang rata adalah tegangan yang dibutuhkan selama proses pengujian dan sesuai dengan tipe tegangan petir yaitu tegangan DC. Untuk pembangkitan tegangan tinggi searah dapat menggunakan pembangkitan tegangan tinggi bolak-balik yang keluarannya dihubungkan dengan rangkaian penyearah setengah gelombang (menggunakan dioda tegangan tinggi). Untuk rangkaian penyearah dengan kapasitor memberikan tegangan DC yang lebih murni daripada tanpa kapasitor.

Selama pengujian, tegangan tinggi searah yang digunakan ialah tegangan searah polaritas negatif yaitu penangkal petir memiliki polaritas positif atau potensial listrik pada ujung penangkal petir lebih besar dari potensial di awan, sehingga peletakan dioda tegangan tinggi pada rangkaian Gambar 2.8 dibuat bias balik atau mundur.



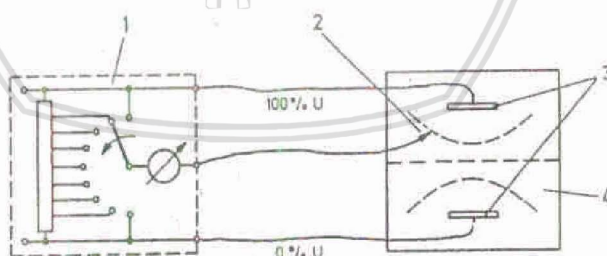
Gambar 2.8 Rangkaian penyearahan setengah gelombang
Sumber : Kind, Dieter, 1993:19

Keterangan:

- (a) rangkaian
- (b) kurva tegangan keluaran tanpa kapasitor perata C
- (c) kurva tegangan keluaran dengan kapasitor perata C

2.13 Metode Pemetaan Eksperimental

Metode ini bertujuan untuk menentukan potensial dari daerah diantara 2 elektroda yang bertegangan. Daerah yang dipakai ialah luasan diantara elektroda ujung runcing finial dan elektroda pelat awan dengan dielektrik udara. Garis garis ekipotensial dapat diplot dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai nilai potensial yang sama pada luasan tersebut. Penggambaran garis medan listrik dilakukan dengan memotong garis-garis ekipotensial secara tegak lurus, karena garis ekipotensial dan garis medan listrik selalu tegak lurus.



Gambar 2.9. Rangkaian pemetaan eksperimental menggunakan kertas konduktif
Sumber : Kind, 1995:179

Keterangan :

1. Pembangkit tegangan DC
2. Probe
3. Elektroda
4. Kertas konduktif



III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian memberikan gambaran metode serta urutan langkah yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun urutan langkah pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.1 Studi Pustaka

Penelitian yang akan dilaksanakan dan disusun pada penelitian ini menguji dan menganalisis pengaruh dari penambahan elektroda pelat pada penangkap petir terhadap tingkat tegangan korona dan tegangan tembus. Dimana tegangan korona dan tegangan tembus dipengaruhi oleh bidang ekipotensial dan distribusi medan listrik di sekitar penangkap petir. Sejauh mana pengaruhnya akan dianalisis dari data nilai tegangan korona dan tembus.

Oleh karena itu penelitian ini disusun dengan memanfaatkan beberapa literatur untuk mendukung hasil pengujian. Studi literatur ini mempelajari tentang :

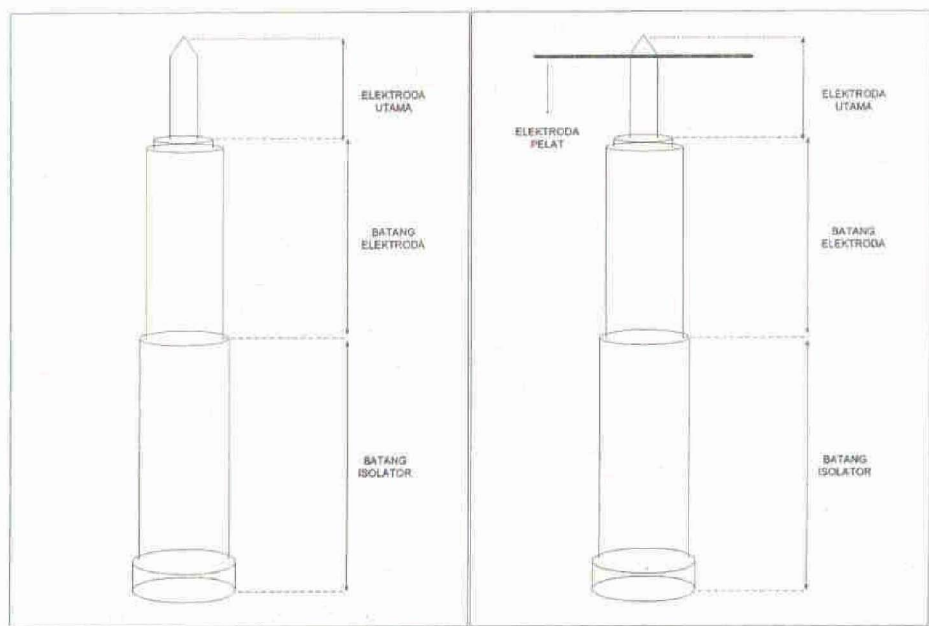
- Tegangan korona dan tegangan tembus
- Ekipotensial dan Medan Listrik
- Metode pemetaan eksperimental

3.2 Objek Uji

Membuat penangkap petir model franklin dan elektroda pelat yang terbuat dari besi yang dipasang menyatu dengan elektroda utama. Luas elektroda pelat adalah 200 cm^2 dan 600 cm^2 dan tebal elektroda pelat adalah 0,5 mm dan 2 mm.

Variabel perubahan pada elektroda pelat, berupa:

- Bentuk elektroda pelat
Bentuk elektroda pelat yang digunakan adalah persegi, lingkaran dan segitiga
- Luas elektroda pelat
Luas elektroda pelat yang digunakan adalah 200 cm^2 dan 600 cm^2
- Tebal elektroda pelat
Tebal elektroda pelat yang digunakan adalah 0,5 mm dan 2 mm
- Letak elektroda pelat
Letak elektroda pelat adalah 1,5 cm dan 10 cm dari ujung finial



Gambar 3.1 Bentuk penangkap petir
a. Tanpa elektroda pelat, b. Dengan elektroda pelat
Sumber: Perancangan



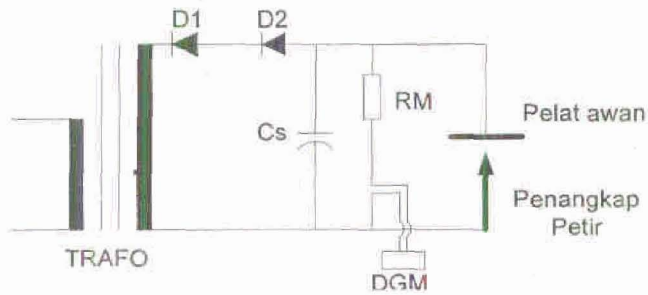
Gambar 3.2 Bentuk dan Luasan elektroda pelat
Sumber: Perancangan

3.3 Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dengan kondisi ruangan dibuat sedemikian rupa sehingga cukup tenang dan cukup gelap untuk mengamati gejala korona dan tembus yang terjadi dan pengujian dilakukan pada kondisi temperatur dan tekanan udara di Laboratorium. Pengujian dilakukan dengan tegangan searah (DC).

Rangkaian pengujian yang terdiri dari trafo uji satu fase tiga belitan yang membangkitkan tegangan tinggi AC. Kemudian tegangan tinggi AC disearahkan dengan sistem penyearah setengah gelombang yang terdiri dari 2 buah diode. Rangkaian pengukuran tegangan tinggi DC

menggunakan sistem pembagi resistif sehingga rangkaian terdiri dari sebuah resistor RM dan alat ukur DC DGM yang terhubung seri. Obyek uji terdiri dari penangkap petir dan pelat seng berbentuk persegi panjang berukuran 100x60 cm .

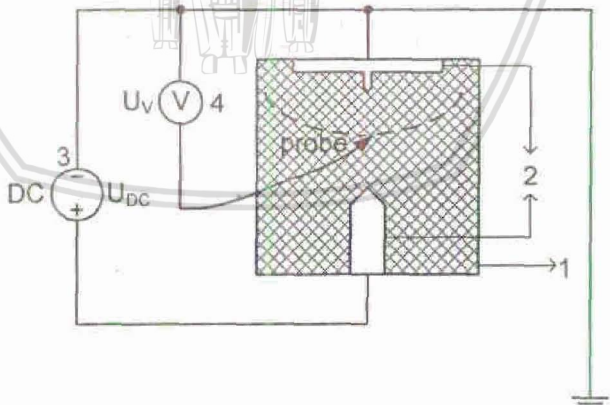


Gambar 3.3 Gambar rangkaian DC dan Objek Uji
Sumber: Perancangan

3.4 Pemetaan Distribusi Ekipotensial Menggunakan Kertas Konduktif

Untuk mendapatkan bentuk distribusi ekipotensial listrik pada konfigurasi objek uji dengan pelat awan, dapat ditentukan dengan bantuan metode pemetaan eksperimental dengan kertas konduktif. Agar sebuah kertas konduktif dapat mewakili sebuah dielektrik dalam jenis tertentu, maka kertas konduktif disusun bertumpuk sehingga mempunyai permitivitas sama dengan permitivitas ϵ dielektrik tersebut. Karena dielektrik udara yang dipakai ialah udara dan ϵ udara = 1, maka kertas konduktif yang dipakai cukup satu lapis.

Bahan yang dipakai untuk memodelkan elektroda terbuat dari aluminium foil yang dipotong sesuai dengan dimensi elektroda tersebut. Selanjutnya aluminium foil tersebut ditempel pada kertas konduktif yang telah terhubung sebelumnya pada sebuah alas dari kayu. Rangkaian pengujian pemetaan distribusi ekipotensial dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4. Rangkaian pengujian pemetaan dengan kertas konduktif
Sumber: Perancangan

Keterangan :

1. Kertas konduktif
2. Elektroda
3. Pembangkit tegangan DC
4. Voltmeter

3.5 Langkah-langkah Pengujian

1. Pengujian tegangan korona dan tembus
 - a. Menyusun rangkaian pengujian seperti Gambar 3.3. Lalu dilakukan pengujian korona dan tembus untuk setiap objek uji.
 - b. Jarak sela s (mm) diubah-ubah mulai dari 20, 30, 40 dan 50 mm. Sehingga setiap perubahan jarak sela untuk tiap-tiap objek uji tersebut dicatat nilai tegangan korona dan tembusnya dan setiap perubahan jarak sela nilai tekanan udara p (mbar) dan suhu ruangan t ($^{\circ}\text{C}$) dicatat.
2. Pemetaan garis ekipotensial dengan metode kertas konduktif
 - a. Rangkaian pada Gambar 3.4 disusun dengan menggunakan sumber tegangan searah. Jarak sela s (mm) antara elektroda sebesar 50 mm.
 - b. Sumber tegangan searah (*DC power supply*) di set pada tegangan $U_{\text{DC}} = 30$ volt. Ditentukan untuk penggambaran garis ekipotensial dengan langkah tegangan U_v sebesar 27 V, 24 V, 21 V, 18 V, 15 V, 12 V, 9 V, 6V dan 3V.
 - c. Untuk menggambar garis ekipotensial, maka ujung probe digerakkan pada permukaan kertas konduktif hingga voltmeter menunjukkan nilai U_v .
 - d. Plot koordinat titik-titik dari setiap potensial U_v pada kertas milimeter.
 - e. Setelah itu dilakukan perhitungan nilai efisiensi dan kuat medan listrik untuk setiap bentuk distribusi medan listrik.

3.6 Analisis Data

1. Membuat tabel dari hasil pengujian dan grafik karakteristik tegangan korona dan tegangan tembus terhadap jarak sela.
2. Menganalisis tingkat tegangan korona dan tegangan tembus terhadap variabel bentuk elektroda pelat.
3. Menganalisis tingkat tegangan korona dan tegangan tembus terhadap variabel luas elektroda pelat

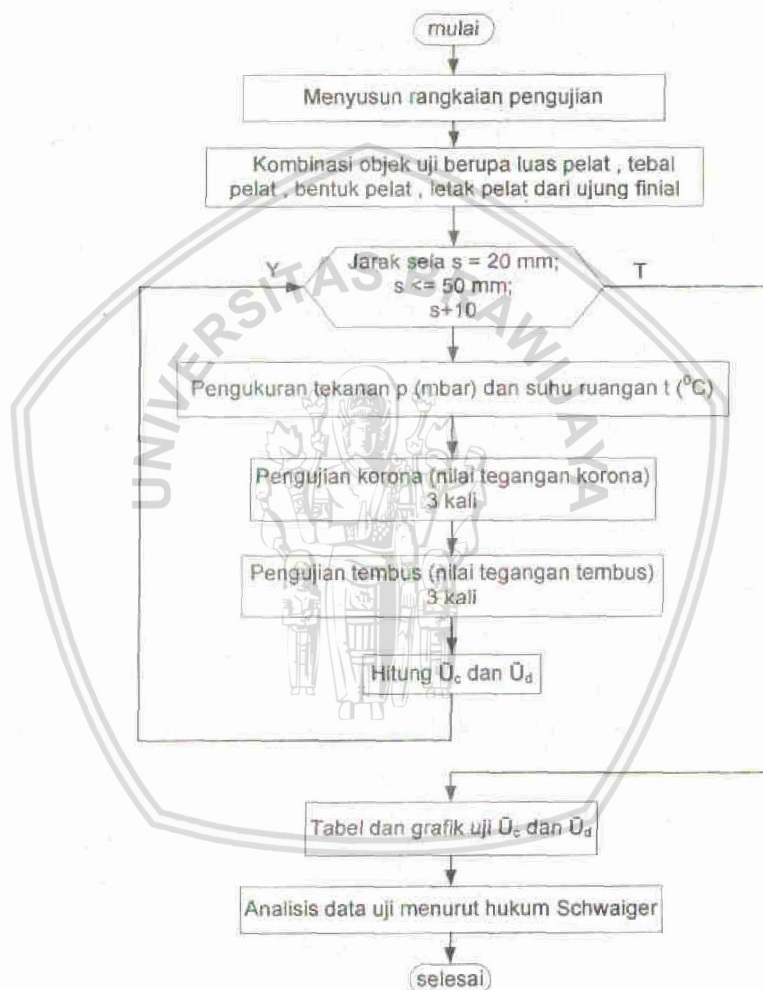


4. Menganalisis tingkat tegangan korona dan tegangan tembus terhadap variabel tebal elektroda pelat
5. Menganalisis tingkat tegangan korona dan tegangan tembus terhadap variabel letak elektroda pelat terhadap ujung finial.
6. Menghitung efisiensi medan listrik (η) untuk setiap distribusi ekipotensial.

3.7 Penarikan Kesimpulan Hasil Penelitian

Dari hasil analisis dan pembahasan ditarik suatu kesimpulan yang merupakan intisari dari penulisan penelitian ini dan disertakan pula saran dari penulis untuk pengembangan penelitian ke depan yang terkait dengan permasalahan ini.

Berikut ini alur dari pengujian yang dilakukan pada penelitian ini :



Gambar 3.5 Diagram alir pengujian
Sumber : perancangan

IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang didapatkan nilai tegangan korona dan tegangan tembus. Data-data tersebut nanti akan disusun dalam bentuk tabel dan grafik berdasarkan variabel letak pelat terhadap ujung finial, luas pelat, tebal pelat dan bentuk pelat yang dipasang pada penangkap petir sehingga dapat diamati pengaruh penambahan elektroda pelat terhadap intensitas tegangan korona dan tegangan tembus

Selain data hasil pengujian ini, nantinya dilakukan penggambaran bentuk distribusi ekipotensial listriknya yang ditentukan secara eksperimen yaitu menggunakan metode pemetaan dengan kertas konduktif. Selanjutnya dari penggambaran ekipotensial itu dihitung efisiensinya.

4.1 Tegangan Korona dan Tegangan Tembus Tanpa Elektroda Pelat

Pada pengujian tegangan korona terdapat dua parameter yang mengindikasikan terjadinya korona yaitu munculnya desis dan cahaya titik yang berwarna putih mengkilat di ujung elektroda. Ketika pengujian diambil data tegangan korona pada saat munculnya desis yang merupakan nilai tegangan awal korona (U_c). Beda tegangan antara munculnya desis dan cahaya titik adalah ± 2 kV.

Pengujian penangkap petir tanpa penambahan elektroda pelat ini digunakan sebagai pembandingan terhadap pengujian penangkap dengan penambahan elektroda pelat. Dari hasil pengujian yang dilakukan diperoleh data tegangan korona (U_c) dan tegangan tembus (U_d) yang tertera pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data tegangan korona & tegangan tembus tanpa elektroda pelat ($p = 959$ mbar, $t = 23^\circ\text{C}$)

Jarak Sela	U_c	U_d
20	15.47	16.52
30	18.83	20.11
40	20.47	21.86
50	23.5	25.10

Sumber : hasil pengujian

Kerapatan udara pada setiap saat berubah sehingga pengujian dalam penelitian ini dalam keadaan kondisional pada kerapatan udara tertentu (p, t) dan tidak pada kondisi kerapatan udara standard ($p_0 = 1013$ mbar, $t_0 = 20^\circ\text{C}$). Agar data bisa dibandingkan maka data pada

saat kerapatan udara tertentu pada saat pengujian perlu diacu kepada data untuk kondisi kerapatan udara standard dengan menggunakan persamaan (2-12) yaitu :

$$U_c = 0,289 \frac{P}{273+t} U_{co}$$

Pada saat pengujian berlangsung, suhu ruangan (t) sebesar 23⁰C dan tekanan udara (p) sebesar 959 mbar, sehingga didapatkan :

$$U_{co} = \frac{U_c}{0,289 \frac{959}{273+23}}$$

$$U_{co} = \frac{U_c}{0,9363}$$

Dari Tabel 4.1 data hasil pengujian kita rubah kedalam kondisi kerapatan udara standard sehingga untuk jarak sela 20 mm dengan U_c sebesar 15.47 kV maka diperoleh :

$$\begin{aligned} U_{co} &= \frac{U_c}{0,9363} \\ &= \frac{15,47}{0,9363} = 16,52 \text{ kV} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama nilai tegangan korona pada saat kondisi kerapatan udara standard untuk jarak sela yang lain terdapat pada Tabel 4.2,

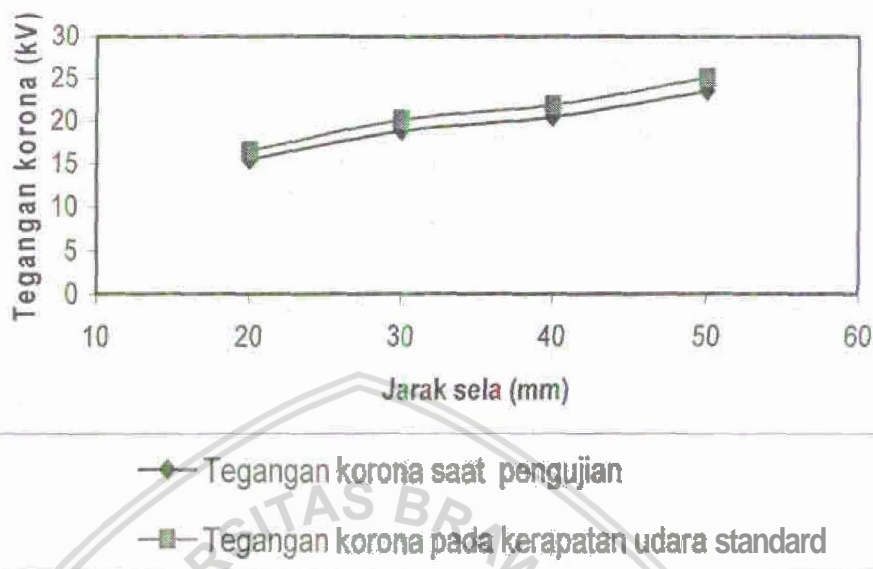
Tabel 4.2 Tegangan korona saat kondisi kerapatan udara standard

Jarak Sela	U_c	U_{co}
20	15.47	16.52
30	18.83	20.11
40	20.47	21.86
50	23.5	25.1

Sumber : hasil pengujian

Dari Gambar 4.1 tampak bahwa nilai tegangan korona pada saat kondisi kerapatan udara standard lebih tinggi daripada kondisi hasil pengujian dan semakin lebar jarak sela maka tegangan korona juga semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan bahwa antara plat awan dan finial dapat dimodelkan sebagai kapasitor dengan jarak sela udara sebesar s, maka nilai kapasitansi dapat didekati dengan menggunakan persamaan $C = \frac{\epsilon_0 k A}{s}$. Dengan bertambahnya jarak sela

(s) maka nilai kapasitansi akan turun. Jumlah muatan dalam dielektrik sebanding dengan besar kapasitansi sesuai dengan persamaan $Q = C.V$. Dimisalkan dalam dielektrik kita beri tegangan sebesar V dengan jarak sela (s_1) sebesar 20 mm maka akan didapatkan nilai kapasitansi sebesar C_1 dengan jumlah muatan sebesar Q_1 . Dengan tegangan yang sama jarak sela kita perlebar menjadi s_2 sebesar 50 mm sehingga kita akan mendapatkan nilai kapasitansi sebesar C_2 . Antara C dan s berbanding terbalik dan karena $s_2 > s_1$ maka $C_2 < C_1$ dan $Q_2 < Q_1$.



Gambar 4.1 Pengaruh jarak sela terhadap tegangan korona

Sumber : Hasil pengujian

Apabila nilai Q_2 dan Q_1 kita masukkan dalam persamaan intensitas medan listrik (2-2) maka diperoleh diperoleh kuat medan listrik E sebagai berikut:

$$E_1 = k \frac{Q_1}{r^2} \text{ dan } E_2 = k \frac{Q_2}{r^2}$$

Karena jari-jari finial r sama maka perbandingan kuat medan listriknya adalah:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{Q_1}{Q_2}, \text{ karena } Q_2 < Q_1 \text{ maka } E_1 > E_2$$

Dari sini dapat diketahui bahwa dengan kuat medan listrik E_1 yang lebih besar dari E_2 menyebabkan pembentukan muatan bebas di depan ujung finial lebih cepat sehingga pada akhirnya terjadinya korona pada level tegangan yang lebih kecil yang ditandai dengan nilai U_c .

yang semakin kecil. Oleh karenanya dengan memperlebar jarak sela s maka dibutuhkan penambahan tegangan agar timbul korona.

Pengujian tegangan tembus juga dilakukan dalam kondisi kerapatan tertentu yaitu pada saat pengujian berlangsung suhu ruangan (t) sebesar 23⁰C dan tekanan udara (p) sebesar 959 mbar. Untuk mengubah tegangan tembus dengan acuan kondisi kerapatan udara standard digunakan persamaan (2-12) yaitu:

$$U_d = 0,289 \frac{p}{273+t} U_{do}$$

$$U_{do} = \frac{U_d}{0,289 \frac{959}{273+23}}$$

$$U_{do} = \frac{U_d}{0,9363}$$

Dari Tabel 4.1 data hasil pengujian dirubah kedalam kondisi kerapatan udara standard. Dan dari tabel ini untuk jarak sela 20 mm diperoleh nilai pengujian U_d sebesar 15,47 kV maka dalam kondisi kerapatan udara standard adalah :

$$U_{do} = \frac{U_d}{0,9363}$$
$$= \frac{15,47}{0,9363} = 16,52 \text{ kV}$$

Dengan cara yang sama nilai tegangan tembus untuk jarak sela yang lain dapat dihitung pada saat kondisi kerapatan udara standard yang terlihat pada Tabel 4.3.

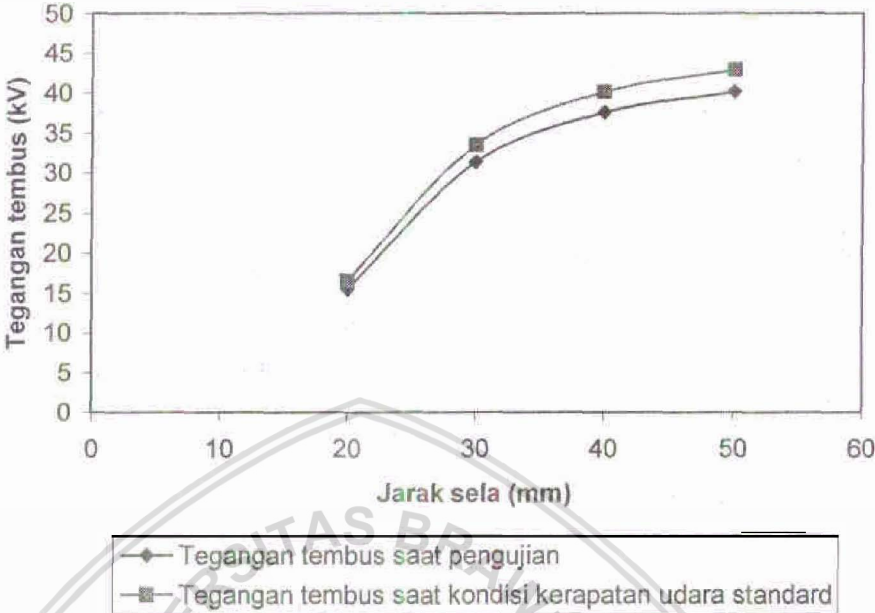
Tabel 4.3 Tegangan tembus saat kondisi kerapatan udara standard

Jarak Sela	U _d	U _{do}
20	15.47	16.52
30	31.37	33.5
40	37.6	40.16
50	40.17	42.9

Sumber : hasil pengujian

Dari Gambar 4.2 tampak bahwa tegangan tembus saat kondisi kerapatan udara standard lebih besar dibanding dengan saat hasil pengujian. Dengan kenaikan jarak sela maka tegangan

tembus juga akan mengalami kenaikan. Hal ini dapat dijelaskan dengan hukum Schwaiger yaitu $U_d = E_d \times s \times \eta$. Dengan menaikkan sela (s) maka tegangan tembus (U_d) semakin besar. Pada jarak sela 20 mm sampai 30 mm terlihat kenaikan tegangan linier sedangkan antara jarak sela 30 mm sampai 50 mm kenaikan tegangan tidak linier lagi karena pada jarak sela 30 mm sampai 50 mm efisiensinya turun sehingga kenaikan tegangan tembusnya tidak linier.



Gambar 4.2 Pengaruh jarak sela terhadap tegangan tembus
Sumber: Hasil pengujian

4.2 Pemetaan Garis Ekipotensial Menggunakan Kertas Konduktif

Metode ini bertujuan untuk memetakan titik-titik dengan potensial yang sama pada daerah di antara 2 elektroda yang bertegangan. Daerah yang dipakai ialah luasan di antara elektroda ujung runcing finial dan elektroda pelat awan dengan dielektrik udara. Garis-garis ekipotensial dapat diplot dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai nilai potensial yang sama pada luasan tersebut dengan mengambil interval 3 Volt dari tegangan maksimal 30 volt.

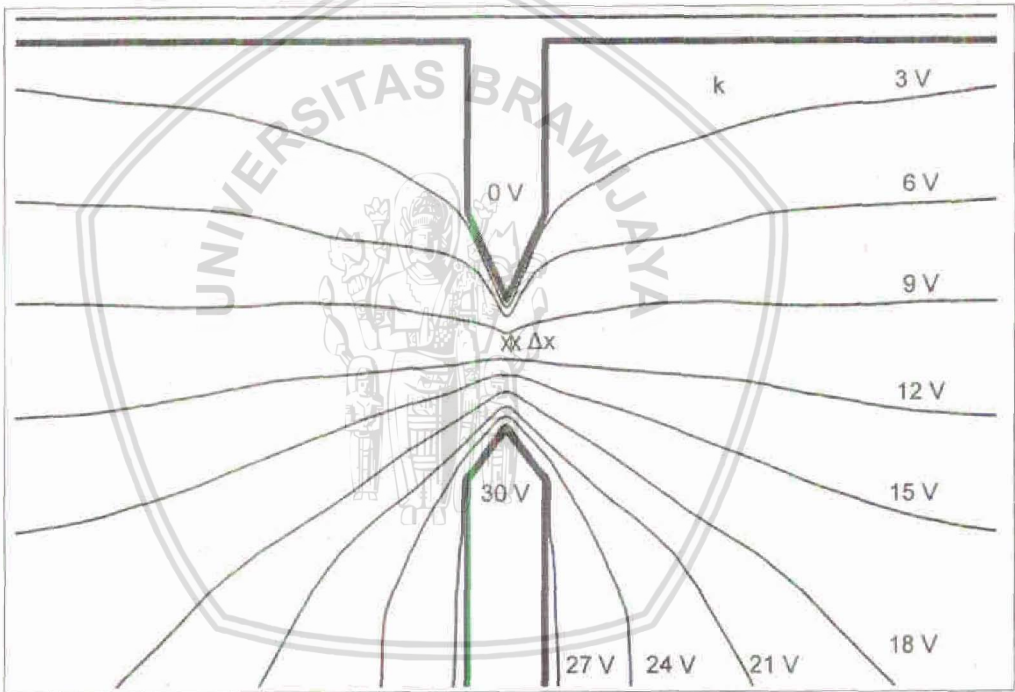
4.2.1 Bentuk Distribusi Ekipotensial Tanpa Menggunakan Elektroda Pelat

Pada pengujian ini dilakukan pemetaan garis ekipotensial di antara finial tanpa penambahan elektroda pelat dengan pelat awan dengan jarak sela 5 cm. Hasil pemetaan garis ekipotensial dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan nilai kuat medan listrik pada konfigurasi finial sepanjang jarak sela 5 cm tersebut dengan interval tegangan (ΔU) sebesar 3 V dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai kuat medan listrik E Tanpa Elektroda Pelat

K	Interval tegangan	ΔU (V)	Δx (mm)	E (V/mm)
1	0 V - 3 V	3	2	1.50
2	3 V - 6 V	3	3	1.00
3	6 V - 9 V	3	13.5	0.22
4	9 V - 12 V	3	13.25	0.23
5	12 V - 15 V	3	9	0.33
6	15 V - 18 V	3	2.5	1.20
7	18 V - 21 V	3	2.5	1.20
8	21 V - 24 V	3	2	1.50
9	24 V - 27 V	3	1.25	2.40
10	27 V - 30 V	3	1	3.00

Sumber : Hasil pengujian



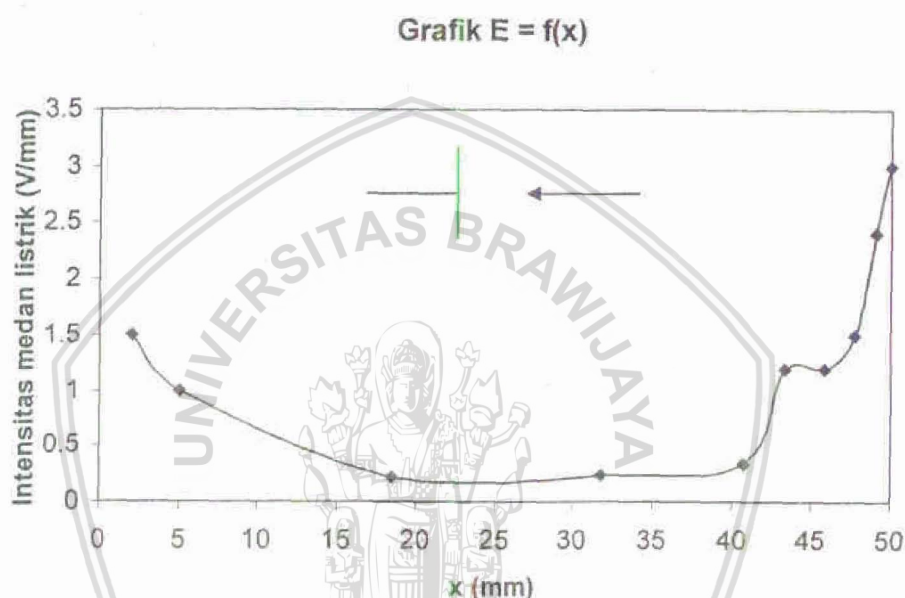
Gambar 4.3 Distribusi garis ekipotensial dengan interval 3 V untuk finial tanpa penambahan elektroda pelat
Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa dengan kenaikan U yang sama maka didapatkan penyebaran garis-garis ekipotensial dengan kerapatan atau jarak Δx yang berbeda-beda. Pada daerah yang

dekat dengan elektroda maka dihasilkan garis-garis ekipotensial dengan nilai Δx sangat kecil dan semakin jauh menyebabkan Δx lebih lebar.

Dengan menggunakan Tabel 4.4, dapat dibuat grafik distribusi intensitas medan listrik di sepanjang lintasan sela udara antara elektroda finial dengan pelat awan tanpa penambahan elektroda pelat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa distribusi intensitas medan listrik yang terbentuk pada daerah sela udara tersebut mempunyai nilai yang tinggi pada jarak sela mendekati 50 mm. Nilai kuat medan listrik yang terbesar dihasilkan di daerah dekat ujung finial yaitu 3V/mm sebagai kuat medan maksimum pada konfigurasi finial tanpa penambahan elektroda pelat dengan $U = 30V$. Sedangkan pada daerah yang semakin jauh dari permukaan elektroda akan menghasilkan kuat medan listrik yang semakin kecil nilainya.



Gambar 4.4 Distribusi intensitas medan listrik pada sela elektroda tanpa penambahan pelat
Sumber : Hasil perhitungan

Dengan melihat Tabel 4.4 dapat diketahui kuat medan maksimumnya adalah 3V/mm.

Intensitas medan listrik rata rata untuk jarak sela 5 cm dalam pengujian ini adalah

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{\sum E_k}{k}$$

$$= \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10}}{10}$$

$$= \frac{12,58}{10}$$

$$= 1,258 \text{ V/mm}$$

Sesuai persamaan (2-6) dapat dihitung efisiensi medan listriknya yaitu :

$$\eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{max}}$$

$$= \frac{1,258}{3}$$

$$= 42 \%$$

Sehingga dapat dihitung kuat medan tembusnya sesuai persamaan (2-8) yaitu :

$$E_d = \frac{U_d}{E_d \times \eta}$$

$$= \frac{42,90}{50 \times 42}$$

$$= 2,04 \text{ kV / mm}$$

4.2.2 Bentuk Distribusi Ekipotensial Menggunakan Elektroda Pelat

Pada pengujian ini dilakukan pemetaan garis ekipotensial di antara finial dengan penambahan elektroda pelat dengan pelat awan dengan jarak sela 5 cm dimana interval tegangannya (ΔU) sebesar 3 V dengan tegangan maksimum yang diberikan sebesar 30 V. Dalam penambahan elektroda pelat ini dapat digambar distribusi ekipotensial penambahan elektroda pelat dengan variabel letak pelat terhadap ujung finial dan luasan pelat.

4.2.2.1 Penambahan elektroda pelat dengan variabel letak pelat terhadap ujung finial

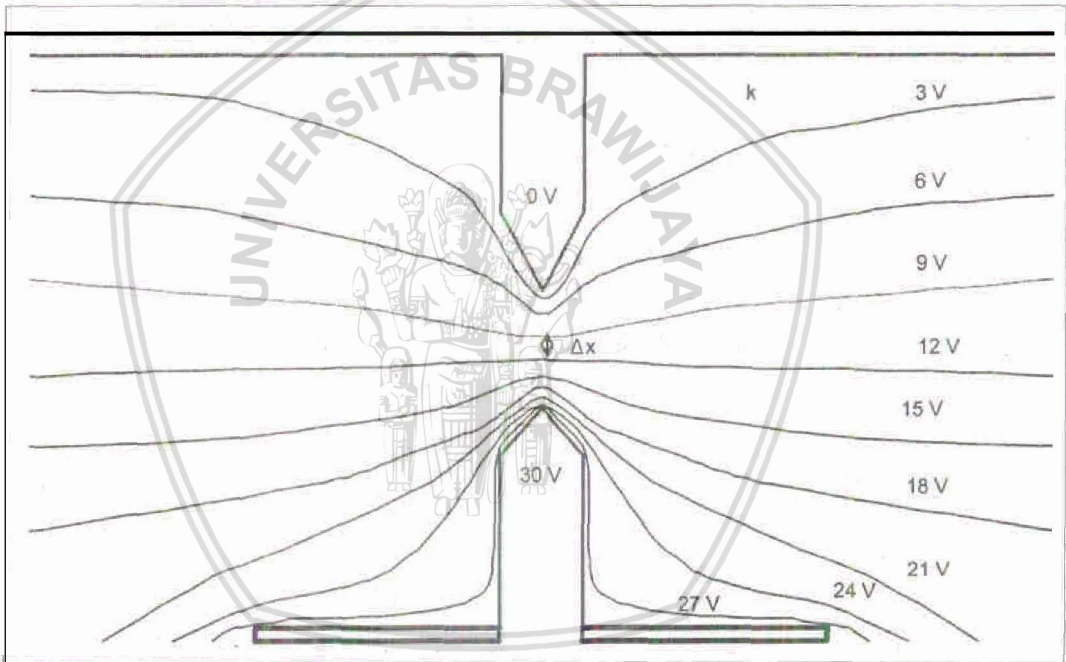
Dengan penambahan elektroda pelat pada finial dengan variabel letak pelat terhadap ujung finial yang letaknya 10 cm dan 1,5 cm dari ujung finial dapat digambarkan distribusi ekipotensialnya.

Hasil pemetaan garis ekipotensial dari penambahan elektroda pelat pada finial dengan letak pelat 10 cm dari ujung finial dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan nilai kuat medan listrik pada konfigurasi finial sepanjang jarak sela 5 cm tersebut dengan interval tegangan (ΔU) sebesar 3 V dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai kuat medan listrik E untuk untuk letak elektroda pelat 10 cm dari ujung finial

K	Interval tegangan	ΔU (V)	Δx (mm)	E (V/mm)
1	0 V - 3 V	3	2	1.50
2	3 V - 6 V	3	2.5	1.20
3	6 V - 9 V	3	13.75	0.22
4	9 V - 12 V	3	13	0.23
5	12 V - 15 V	3	9	0.33
6	15 V - 18 V	3	2.5	1.20
7	18 V - 21 V	3	2.5	1.20
8	21 V - 24 V	3	2	1.50
9	24 V - 27 V	3	1.5	2.00
10	27 V - 30 V	3	1.25	2.4

Sumber : Hasil pengujian



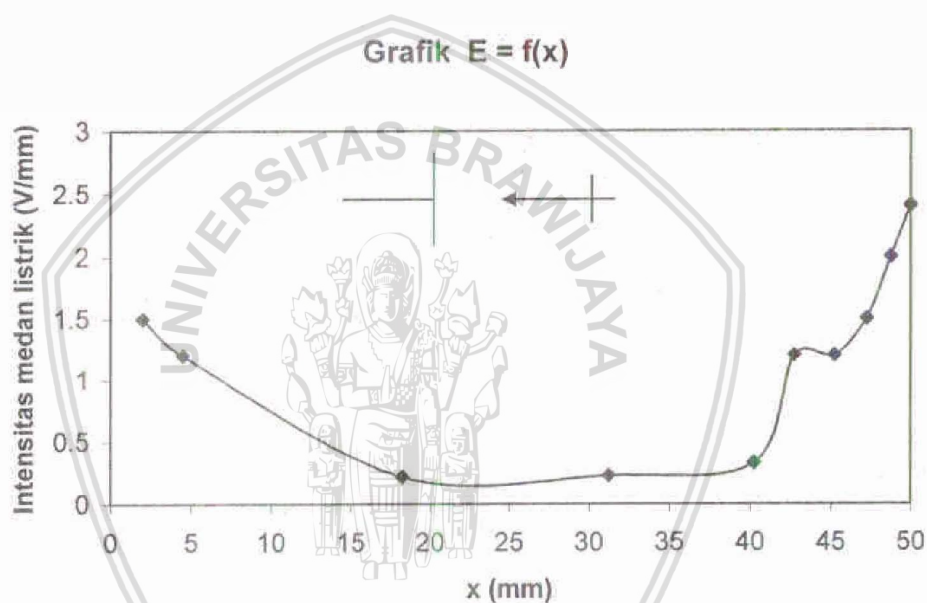
Gambar 4.5 Distribusi garis ekipotensial dengan interval 3 V untuk finial dengan penambahan elektroda pelat yang terletak 10 cm dari ujung finial
Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa dengan kenaikan U yang sama maka didapatkan distribusi ekipotensial dengan kerapatan atau jarak Δx yang berbeda-beda. Pada daerah yang dekat

dengan elektroda maka dihasilkan garis-garis ekipotensial dengan nilai Δx yang kecil dan semakin jauh menyebabkan Δx lebih lebar. Garis ekipotensial yang terbentuk pada level tegangan mengikuti kontur dari bentuk elektroda finial yang telah ditambahi dengan pelat seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 dan yang paling terlihat jelas pada level tegangan 21 V, 24 V dan 27 V.

Dengan menggunakan Tabel 4.5 dapat dibuat grafik distribusi intensitas medan listrik di sepanjang lintasan sela udara antara elektroda finial dengan pelat awan yang telah ditambahi elektroda pelat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa distribusi intensitas medan listrik yang terbentuk pada daerah sela udara tersebut mempunyai nilai yang tinggi pada jarak sela antara 45 mm sampai dengan 50 mm. Nilai kuat medan listrik yang terbesar dihasilkan di daerah dekat ujung finial yaitu 2,4V/mm. Sedangkan pada daerah yang semakin jauh dari permukaan elektroda akan menghasilkan kuat medan listrik yang semakin kecil nilainya.



Gambar 4.6 Distribusi intensitas medan listrik pada sela elektroda dengan penambahan pelat yang terletak 10 cm dari ujung finial
Sumber : Hasil perhitungan

Dengan melihat Tabel 4.5 dapat diketahui kuat medan maksimumnya adalah 2,4 V/mm.

Intensitas medan listrik rata rata untuk jarak sela 5 cm dalam pengujian ini adalah :

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{\sum E_k}{k}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10}}{10} \\ &= \frac{11,78}{10} \\ &= 1,178 \text{ V/mm} \end{aligned}$$

Sesuai persamaan (2-6) dapat dihitung efisiensi medan listriknya yaitu :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{E_{rata-rata}}{E_{max}} \\ &= \frac{1,178}{2,4} \\ &= 49 \% \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung kuat medan tembusnya sesuai persamaan (2-8) yaitu :

$$E_d = \frac{U_d}{E_d \times \eta} = \frac{43,20}{50 \times 42} = 1,76 \text{ kV / mm}$$

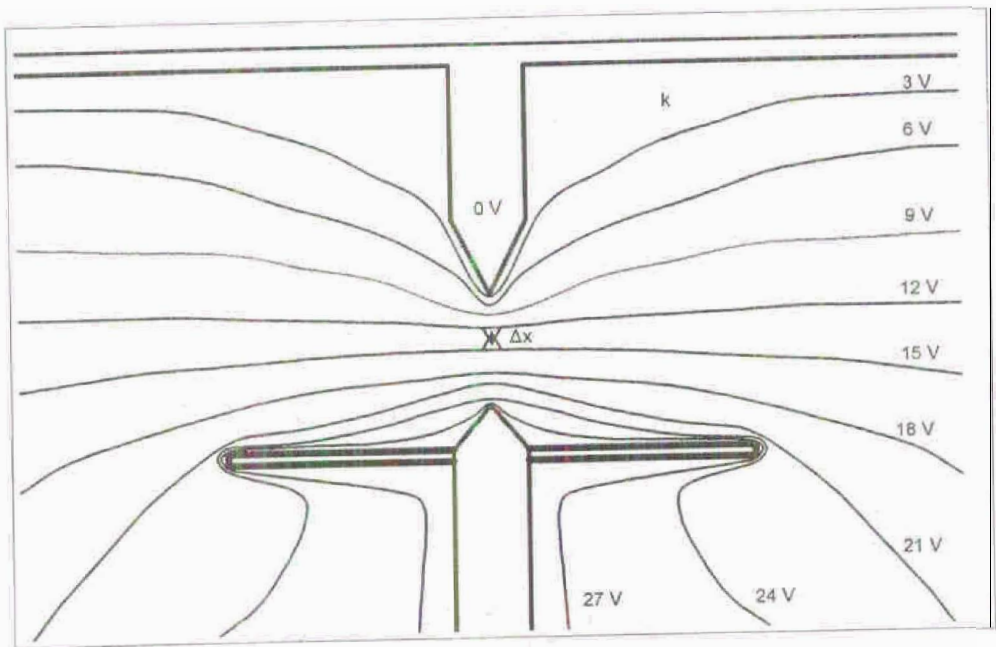
Hasil pemetaan garis ekipotensial dari penambahan elektroda pelat pada finial dengan letak pelat 1,5 cm dari ujung finial dapat dilihat pada Gambar 4.7 dibawah ini dan nilai kuat medan listrik pada konfigurasi finial sepanjang jarak sela 5 cm tersebut dengan interval tegangan (ΔU) sebesar 3 V dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai kuat medan listrik E untuk untuk letak elektroda pelat 1,5 cm dari ujung finial

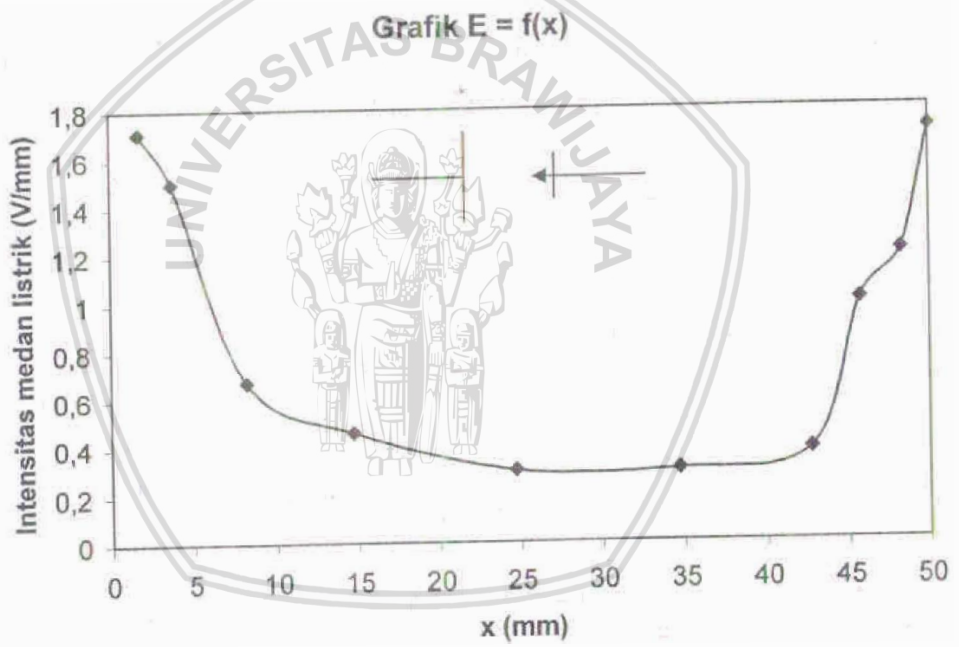
k	Interval tegangan	ΔU (V)	Δx (mm)	E (V/mm)
1	0 V - 3 V	3	1.5	2
2	3 V - 6 V	3	1.5	2
3	6 V - 9 V	3	5	0.6
4	9 V - 12 V	3	6.75	0.44
5	12 V - 15 V	3	10	0.3
6	15 V - 18 V	3	9.5	0.31
7	18 V - 21 V	3	9	0.33
8	21 V - 24 V	3	3	1.00
9	24 V - 27 V	3	2.25	1.33
10	27 V - 30 V	3	1.5	2

Sumber : Hasil pengujian





Gambar 4.7 Distribusi garis ekipotensial dengan interval 3 V untuk finial dengan penambahan elektroda pelat yang terletak 1,5 cm dari ujung finial
Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 4.8 Distribusi intensitas medan listrik pada sela elektroda dengan penambahan pelat yang terletak 1,5 cm dari ujung finial
Sumber : Hasil perhitungan

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa dengan kenaikan U yang sama maka didapatkan distribusi ekipotensial dengan kerapatan atau jarak Δx yang berbeda-beda. Pada daerah yang dekat

dengan elektroda maka dihasilkan garis-garis ekipotensial dengan nilai Δx yang kecil dan semakin jauh menyebabkan Δx lebih lebar. Garis ekipotensial yang terbentuk pada level tegangan 24 V dan 27 V terlihat jelas mengikuti kontur dari bentuk elektroda finial yang telah ditambahi dengan pelat seperti yang terlihat pada Gambar 4.7.

Dengan menggunakan Tabel 4.6 dapat dibuat grafik distribusi intensitas medan listrik di sepanjang lintasan sela udara antara elektroda finial dengan pelat awan yang telah ditambahi elektroda pelat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14.

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa distribusi intensitas medan listrik yang terbentuk pada daerah sela udara tersebut mempunyai nilai yang tinggi pada jarak sela antara 0 mm sampai dengan 5 mm dan 45 mm sampai dengan 50 mm. Nilai kuat medan listrik yang terbesar dihasilkan di daerah dekat ujung finial dan daerah dekat ujung finial yaitu 1,71V/mm sedangkan pada daerah yang semakin jauh dari permukaan elektroda akan menghasilkan kuat medan listrik yang kecil nilainya.

Dengan melihat tabel 4.6 dapat diketahui kuat medan maksimumnya adalah 1,71 V/mm.

Intensitas medan listrik rata rata untuk jarak sela 5 cm dalam pengujian ini adalah :

$$\begin{aligned} E_{rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{k} \\ &= \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10}}{10} \\ &= \frac{10,31}{10} \\ &= 1,031 \text{ V/mm} \end{aligned}$$

Sesuai persamaan (2-6) dapat dihitung efisiensi medan listriknya yaitu :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{E_{rata-rata}}{E_{max}} \\ &= \frac{1,031}{2} \\ &= 51 \% \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung kuat medan tembusnya sesuai persamaan (2-8) yaitu :

$$E_d = \frac{U_d}{E_d \times \eta}$$

$$= \frac{52,53}{50 \times 51}$$
$$= 2,05 \text{ kV / mm}$$

Dari analisis diatas didapatkan bahwa pada elektroda pelat dengan letak lebih jauh dengan ujung finial yaitu 10 cm didapatkan efisiensi lebih kecil yaitu 49 % dibandingkan letak yang dekat dengan ujung finial yaitu 1,5 cm sebesar 54%.

4.2.2.2 Penambahan elektroda pelat dengan variabel luasan pelat

Dengan penambahan elektroda pelat pada finial dengan variabel luas pelat yang luas pelatnya 200 cm² dan 600 cm² dapat digambarkan distribusi ekipotensialnya.

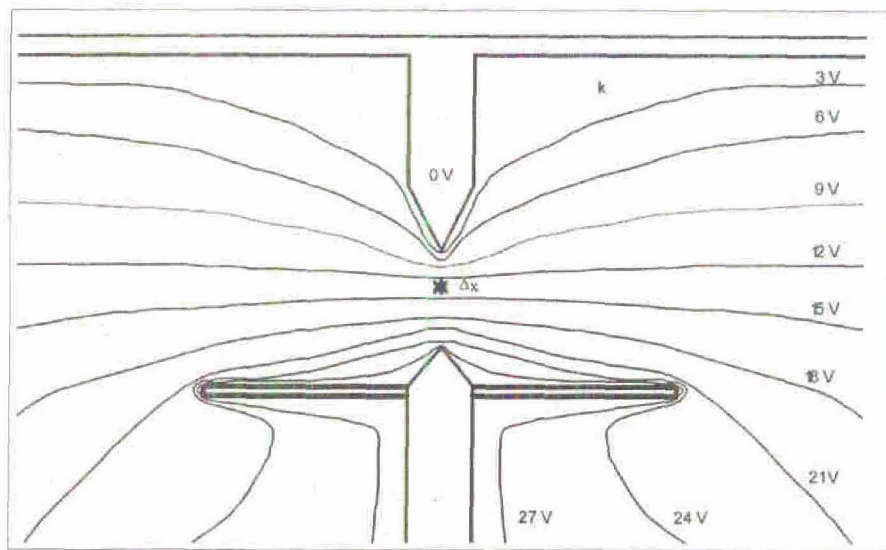
Hasil pemetaan garis ekipotensial dari penambahan elektroda pelat pada finial dengan luas pelat 200 cm² dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan nilai kuat medan listrik pada h_a finial sepanjang jarak sela 5 cm tersebut dengan interval tegangan (ΔU) sebesar 3 V dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Nilai kuat medan listrik E untuk untuk luas elektroda pelat 200 cm²

k	Interval tegangan	ΔU (V)	Δx (mm)	E (V/mm)
1	0 V - 3 V	3	1.75	1.71
2	3 V - 6 V	3	2	1.50
3	6 V - 9 V	3	4.5	0.67
4	9 V - 12 V	3	6.5	0.46
5	12 V - 15 V	3	10	0.30
6	15 V - 18 V	3	10	0.30
7	18 V - 21 V	3	8	0.38
8	21 V - 24 V	3	3	1.00
9	24 V - 27 V	3	2.5	1.20
10	27 V - 30 V	3	1.75	1.71

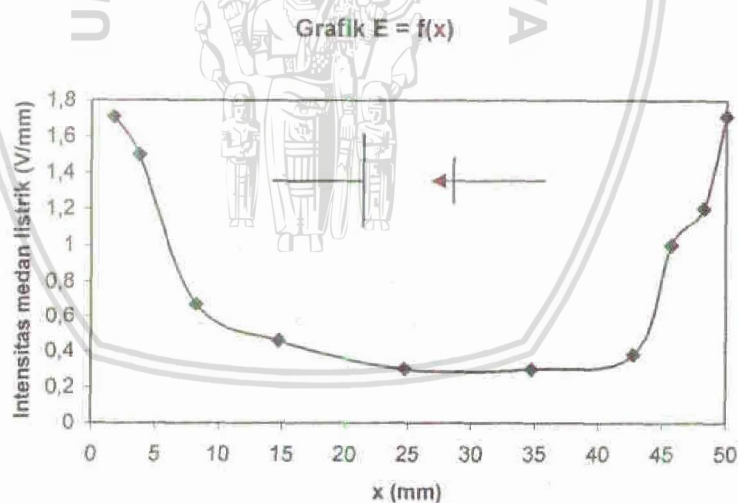
Sumber : Hasil pengujian

Dengan menggunakan Tabel 4.7 dapat dibuat grafik distribusi intensitas medan listrik di sepanjang lintasan sela udara antara elektroda finial dengan pelat awan yang telah ditambahi elektroda pelat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.9 Distribusi garis ekuipotensial dengan interval 3 V untuk finial dengan penambahan elektroda pelat dengan luasan 200 cm²
Sumber : Pengujian

Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa dengan kenaikan U yang sama maka didapatkan distribusi ekuipotensial dengan kerapatan atau jarak Δx yang berbeda-beda. Pada daerah yang dekat dengan elektroda maka dihasilkan garis-garis ekuipotensial dengan nilai Δx yang kecil dan semakin jauh menyebabkan Δx lebih lebar. Garis ekuipotensial yang terbentuk pada level tegangan 24 V dan 27 V terlihat jelas mengikuti kontur dari bentuk elektroda finial yang telah ditambahi dengan pelat seperti yang terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.10 Distribusi intensitas medan listrik pada sela elektroda dengan penambahan pelat dengan luasan 200 cm²
Sumber : Hasil perhitungan

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa distribusi intensitas medan listrik yang terbentuk pada daerah sela udara tersebut mempunyai nilai yang tinggi pada jarak sela antara 0 mm sampai dengan 5 mm dan 45 mm sampai dengan 50 mm. Nilai kuat medan listrik yang terbesar dihasilkan di daerah dekat ujung finial dan dekat pelat awan yaitu 1,71V/mm sedangkan pada daerah yang semakin jauh dari permukaan elektroda akan menghasilkan kuat medan listrik yang kecil nilainya.

Dengan melihat Tabel 4.7 dapat diketahui kuat medan maksimumnya adalah 1,71 V/mm.

Intensitas medan listrik rata rata untuk jarak sela 5 cm dalam pengujian ini adalah

$$\begin{aligned} E_{rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{k} \\ &= \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10}}{10} \\ &= \frac{9,23}{10} \\ &= 0,923 \text{ V/mm} \end{aligned}$$

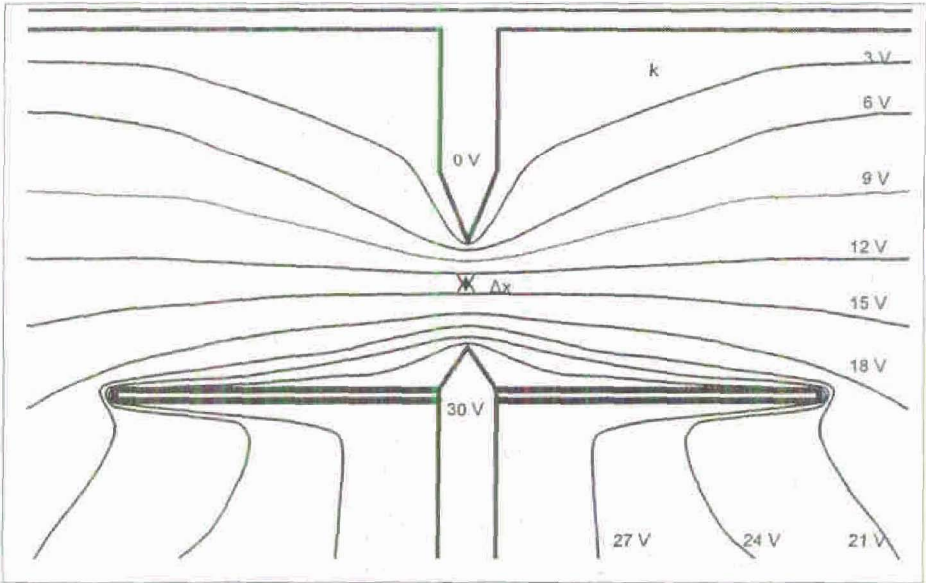
Sesuai persamaan (2-6) dapat dihitung efisiensi medan listriknya yaitu :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{E_{rata-rata}}{E_{max}} \\ &= \frac{0,923}{1,71} \\ &= 54 \% \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung kuat medan tembusnya sesuai persamaan (2-8) yaitu :

$$\begin{aligned} E_d &= \frac{U_d}{E_d \times \eta} \\ &= \frac{55,66}{50 \times 54} \\ &= 2,06 \text{ kV / mm} \end{aligned}$$

Hasil pemetaan garis ekipotensial dari penambahan elektroda pelat pada finial dengan letak 600 cm² dapat dilihat pada Gambar 4.11 dibawah ini dan nilai kuat medan listrik pada konfigurasi finial sepanjang jarak sela 5 cm tersebut dengan interval tegangan (ΔU) sebesar 3 V dapat dilihat pada Tabel 4.8.



Gambar 4.11 Distribusi garis ekipotensial dengan interval 3 V untuk finial dengan penambahan elektroda pelat dengan luasan 600 cm²
Sumber : Hasil perhitungan

Dari Gambar 4.11 terlihat bahwa dengan kenaikan U yang sama maka didapatkan distribusi ekipotensial dengan kerapatan atau jarak Δx yang berbeda-beda. Pada daerah yang dekat dengan elektroda maka dihasilkan garis-garis ekipotensial dengan nilai Δx yang kecil dan semakin jauh menyebabkan Δx lebih lebar. Garis ekipotensial yang terbentuk mengikuti kontur dari bentuk finial yang telah ditambahi dengan elektroda pelat dan pada level tegangan 21 V, 24 V dan 27 V terlihat jelas seperti yang terlihat pada Gambar 4.11.

Tabel 4.8 Nilai kuat medan listrik E untuk untuk luas elektroda pelat 600 cm²

K	Interval tegangan	ΔU (V)	Δx (mm)	E (V/mm)
1	0 V - 3 V	3	1.75	1.71
2	3 V - 6 V	3	2	1.50
3	6 V - 9 V	3	4.5	0.67
4	9 V - 12 V	3	6.5	0.46
5	12 V - 15 V	3	9	0.33
6	15 V - 18 V	3	9	0.33
7	18 V - 21 V	3	8.25	0.36
8	21 V - 24 V	3	4.5	0.67
9	24 V - 27 V	3	2.5	1.20
10	27 V - 30 V	3	2	1.50

Sumber : Hasil pengujian

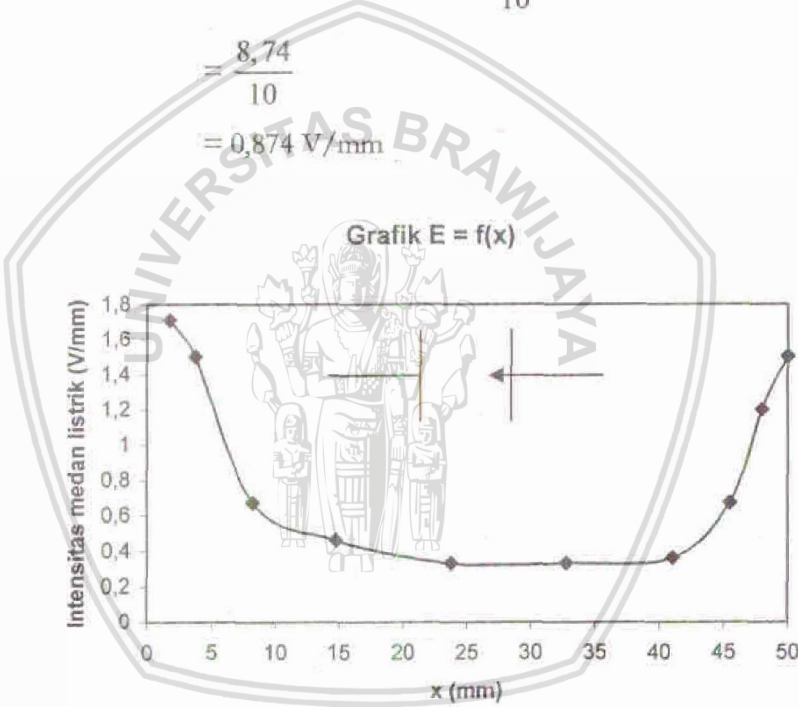
Dengan menggunakan Tabel 4.8 dapat dibuat grafik distribusi intensitas medan listrik di sepanjang lintasan sela udara antara elektroda finial dengan pelat awan yang telah ditambahi elektroda pelat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa distribusi intensitas medan listrik yang terbentuk pada daerah sela udara tersebut mempunyai nilai yang tinggi pada jarak sela antara 0 mm sampai dengan 5 mm dan 45 mm sampai dengan 50 mm. Nilai kuat medan listrik yang terbesar dihasilkan di daerah dekat pelat awan yaitu 1,71V/mm sedangkan pada daerah yang semakin jauh dari permukaan elektroda akan menghasilkan kuat medan listrik yang kecil nilainya.

Dengan melihat Tabel 4.8 dapat ditentukan kuat medan maksimumnya yaitu 1,71 V/mm.

Intensitas medan listrik rata rata untuk jarak sela 5 cm dalam pengujian ini adalah :

$$\begin{aligned} E_{rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{k} \\ &= \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10}}{10} \\ &= \frac{8,74}{10} \\ &= 0,874 \text{ V/mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.12 Distribusi intensitas medan listrik pada sela elektroda dengan penambahan pelat dengan luasan 600 cm²
Sumber : Hasil perhitungan

Sesuai persamaan (2-6) dapat dihitung efisiensi medan listriknya yaitu :

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{E_{rata-rata}}{E_{max}} \\ &= \frac{0,874}{1,71} \\ &= 58 \%\end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung kuat medan tembusnya sesuai persamaan (2-8) yaitu :

$$\begin{aligned}E_d &= \frac{U_d}{E_d \times \eta} \\ &= \frac{56,13}{50 \times 58} \\ &= 2,93 \text{ kV / mm}\end{aligned}$$

Dari analisis diatas didapatkan bahwa pada elektroda pelat dengan luasan 600 cm² didapatkan efisiensi (η) yang lebih besar yaitu 58% dibandingkan luasan 200 cm² yaitu sebesar 54 %.

4.3 Pengaruh Bentuk Elektroda Pelat terhadap Tingkat Tegangan

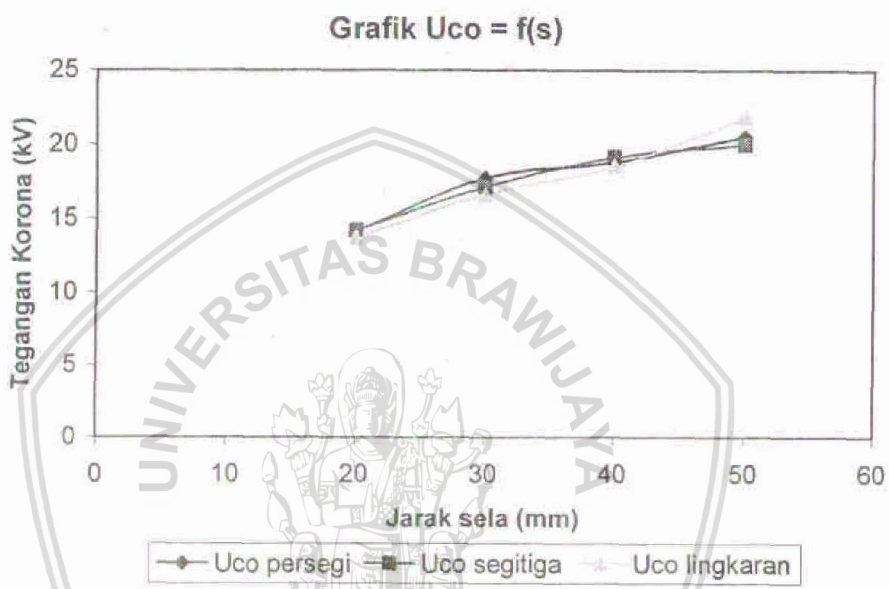
Pengujian terhadap pelat dengan bentuk persegi, segitiga dan lingkaran menunjukkan bahwa bentuk pelat tidak berpengaruh terhadap intensitas tegangan korona dan tegangan tembus. Semua data hasil pengujian ini ————— kecenderungan hasil yang sama, maka data yang akan dibahas pada pengujian bentuk adalah penambahan *et* ————— pelat dengan bentuk persegi, segitiga dan lingkaran dengan luas pelat 600 cm², tebal 0,5 cm dan terletak 1,5 cm dari ujung finial. Data hasil pengujian lainnya dapat dilihat pada lampiran.

Data hasil pengujian tegangan korona dan tegangan tembus dengan bentuk persegi, segitiga dan lingkaran dengan luas pelat 600 cm², tebal 0,5 mm dan terletak 1,5 cm dari ujung finial terlihat pada Tabel 4.9 dan grafik fungsi tegangan korona dan tegangan tembus terhadap jarak sela terdapat dalam Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

Tabel 4.9 Intensitas tegangan korona dan tegangan tembus dengan luas pelat 600 cm², tebal 0,5 cm dan letak 1,5 cm dari ujung finial. (t = 23^oC dan p = 959 mbar)

Jarak sela (mm)	Bentuk					
	persegi		segitiga		lingkaran	
	U _{co} (kV)	U _{do} (kV)	U _{co} (kV)	U _{do} (kV)	U _{co} (kV)	U _{do} (kV)
20	14.14	16.63	14.21	16.77	13.75	16.67
30	17.74	36.15	17.13	35.04	16.63	36.00
40	18.84	45.12	19.16	46.30	18.55	45.90
50	20.55	56.13	20.01	56.38	21.83	56.91

Sumber : Hasil pengujian

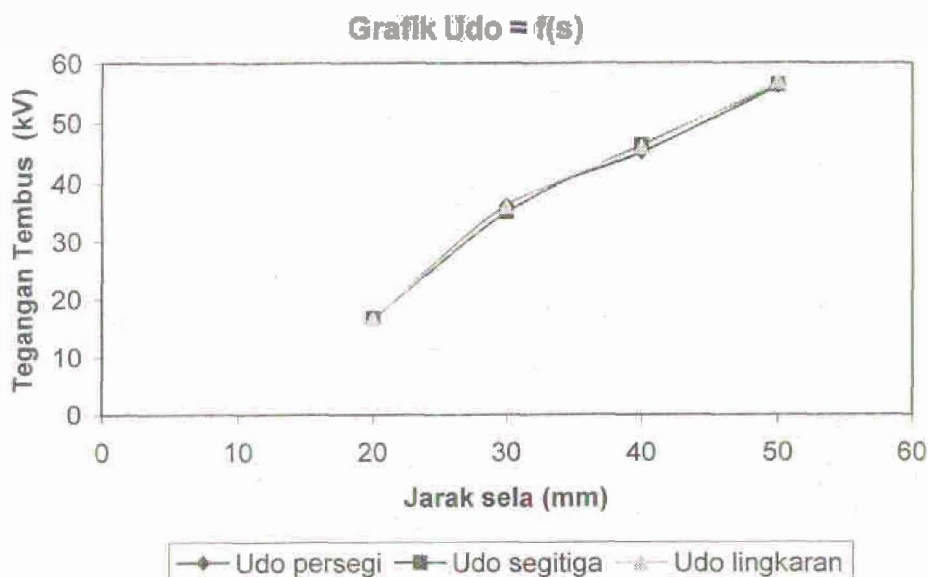


Gambar 4.13 Grafik tegangan korona terhadap jarak sela dengan bentuk pelat persegi, segitiga dan lingkaran, luas pelat 600 cm², tebal 0,5 cm dan letak 1,5 cm dari ujung finial

Sumber : Hasil perhitungan

Dad Gambar 4.13 terlihat bahwa dengan variasi bentuk elektroda pelat berupa persegi, lingkaran dan segitiga tegangan korona hampir sama dan intensitas tegangan korona semakin besar seiring bertambahnya jarak sela.





Gambar 4.14 Grafik tegangan tembus terhadap jarak sela dengan bentuk pelat persegi, segitiga dan lingkaran dg luas pelat 600 cm², tebal 0,5 cm dan letak 1,5 cm dari ujung finial

Sumber : Hasil p a —

Dari Gambar 4.14 terlihat bahwa dengan variasi bentuk elektroda pelat berupa persegi, lingkaran dan segitiga intensitas tegangan tembus cenderung sama dan intensitas tegangan tembus semakin besar seiring bertambahnya jarak sela.

4.4 Pengaruh Tebal Elektroda Pelat terhadap Tingkat Tegangan

Pengujian terhadap pelat dengan tebal pelat 0,5 mm dan 2 mm menunjukkan bahwa tebal pelat tidak berpengaruh terhadap intensitas tegangan korona dan tegangan tembus. Semua data hasil pengujian menunjukkan kecenderungan hasil yang sama, maka data yang akan dibahas pada pengujian bentuk adalah penambahan elektroda pelat dengan bentuk persegi dengan luas pelat 600 cm², tebal 0,5 cm dan 2 cm terletak 1,5 cm dari ujung finial.

Data hasil pengujian tegangan korona dan tegangan tembus dengan bentuk pelat persegi dengan tebal 0,5 mm dan 2 mm dengan luas pelat 600 cm² terletak 1,5 cm dari ujung finial terlihat pada Tabel 4.10 dan grafik fungsi tegangan korona dan tegangan tembus terhadap jarak sela terdapat dalam Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.

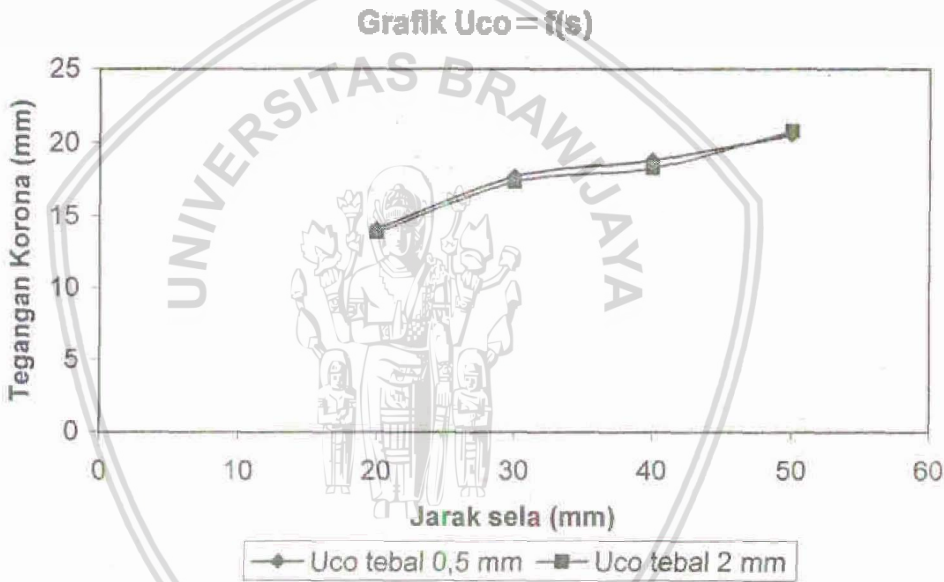
Dari Gambar 4.15 terlihat bahwa dengan variasi bentuk tebal pelat dengan tebal 0,5 mm dan 2 mm intensitas tegangan korona cenderung sama dan intensitas tegangan korona semakin besar seiring bertambahnya jarak sela.

Dari Gambar 4.16 terlihat bahwa dengan variasi bentuk tebal pelat dengan tebal 0,5 mm dan 2 mm intensitas tegangan tembus cenderung sama dan intensitas tegangan korona semakin besar seiring bertambahnya jarak sela.

Tabel 4.10 Intensitas tegangan korona dan tegangan tembus dengan luas pelat 600 cm², bentuk persegi dan letak 1,5 cm dari ujung finial. (t = 23^oC dan p = 959 mbar)

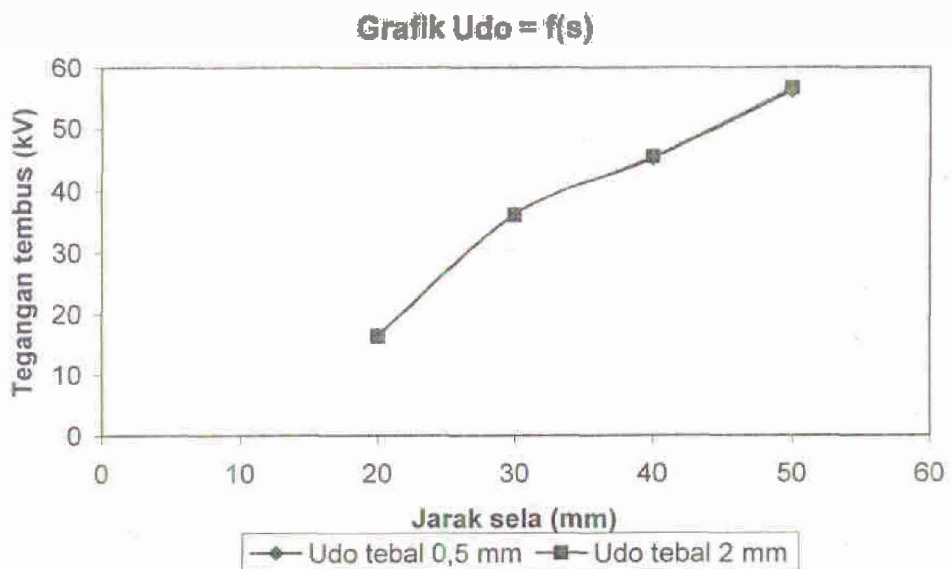
Jarak sela (mm)	Tebal			
	0.5 mm		2 mm	
	U _{co} (kV)	U _{do} (kV)	U _{co} (kV)	U _{do} (kV)
20	14.14	16.63	13.89	16.45
30	17.74	36.15	17.38	36.00
40	18.84	45.12	18.30	45.37
50	20.55	56.13	20.83	56.62

Sumber : Hasil pengujian



Gambar 4.15 Grafik tegangan korona terhadap jarak sela dengan tebal pelat 0,5 mm dan 2 mm, luas pelat 600 cm², bentuk persegi dan letak 1,5 cm dari ujung finial

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 4.16 Grafik tegangan tembus terhadap jarak sela dengan tebal pelat 0,5 mm dan 2 mm, luas pelat 600 cm², bentuk persegi dan letak 1,5 cm dari ujung finial
Sumber : Hasil perhitungan

4.5 Pengaruh Luas Elektroda Pelat terhadap Tingkat Tegangan

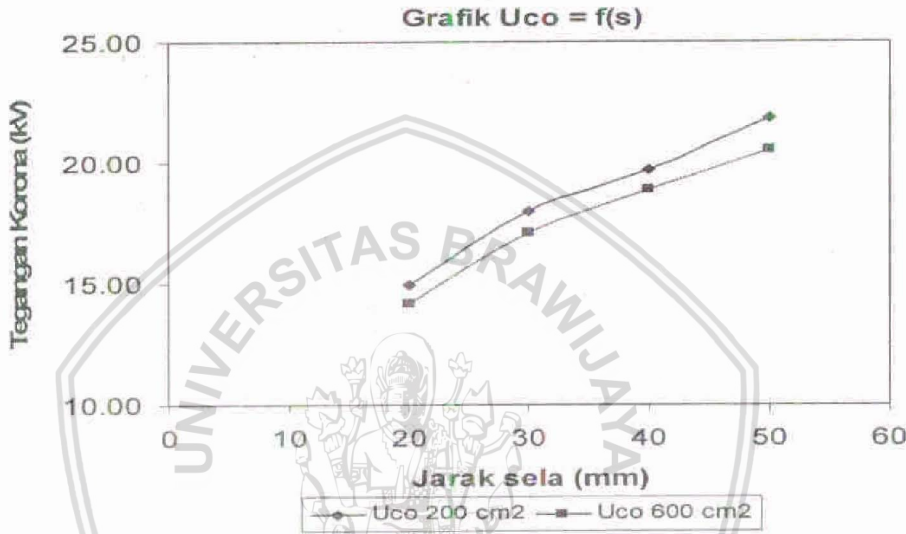
Pengujian terhadap pelat dengan luas pelat 200 cm² dan 600 cm² menunjukkan bahwa ρ & \sim berpengaruh terhadap f tegangan korona & tegangan tembus. Seiring bertambahnya luasan elektroda pelat maka tegangan korona akan semakin mengecil dan tegangan tembus juga akan bertambah besar seiring dengan bertambahnya luasan elektroda pelat. Semua data hasil pengujian menunjukkan kecenderungan hasil yang sama, maka data yang akan dibahas pada pengujian bentuk adalah penambahan elektroda pelat dengan bentuk persegi dengan luas pelat 200 cm² dan 600 cm², tebal 0,5 cm dan terletak 1,5 cm dari ujung finial.

Data hasil pengujian tegangan korona dan tegangan tembus dengan bentuk pelat persegi luas 200 cm² dan 600 cm², tebal 0,5 cm dan terletak 1,5 cm dari ujung finial terlihat pada Tabel 4.11 dan grafik fungsi tegangan korona dan tegangan tembus terhadap jarak sela terdapat dalam Gambar 4.17 dan Gambar 4.18.

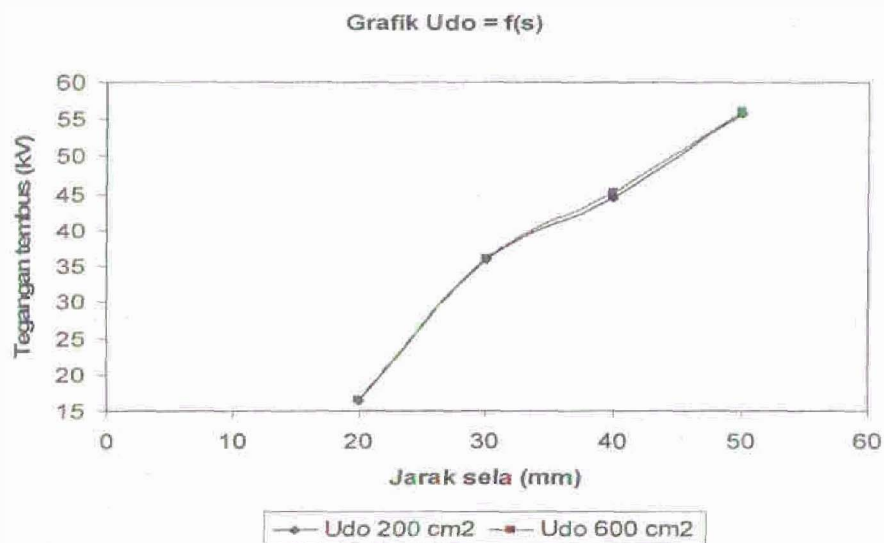
Tabel 4.11 Intensitas tegangan korona dan tegangan tembus dengan bentuk persegi, tebal 0,5 mm dan letak 1,5 cm dari ujung finial. ($t = 23^{\circ}\text{C}$ dan $p = 959 \text{ mbar}$)

Jarak sela (mm)	Luas			
	200 cm ²		600 cm ²	
	U _{co} (kV)	U _{do} (kV)	U _{co} (kV)	U _{do} (kV)
20	14,96	16,42	14,14	16,63
30	17,95	35,83	17,74	36,15
40	19,48	44,34	18,84	45,12
50	21,83	55,66	20,55	56,13

Sumber : Hasil pengujian



Gambar 4.17 Grafik tegangan korona terhadap jarak sela dengan luas pelat 200 cm² dan 600 cm², bentuk persegi, tebal 0,5 mm dan letak 1,5 cm dari ujung finial
Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 4.18 Grafik tegangan tembus terhadap jarak sela dengan luas pelat 200 cm² dan 600 cm², bentuk persegi, tebal 0,5 mm dan letak 1,5 cm dari ujung finial
Sumber : Hasil perhitungan

Dari Gambar 4.17 terlihat bahwa dengan variasi luas elektroda pelat 200 cm² dan 600 cm² intensitas tegangan korona lebih besar pada pelat dengan luas 200 cm² dibandingkan pelat dengan luas 600 cm².

Dari Gambar 4.18 terlihat bahwa dengan variasi luas elektroda pelat 200 cm² dan 600 cm² intensitas tegangan tembus lebih besar pada pelat dengan luas 600 cm² dibandingkan pelat dengan luas 200 cm². Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada luas pelat 200 cm² menghasilkan efisiensi medan listrik (η) sebesar 54% dimana lebih kecil daripada efisiensi medan listrik (η) pada luas pelat 600 cm² yaitu sebesar 58 %. Dan kuat medan tembus (E_d) pada luas pelat 200 cm² yaitu sebesar 2,06 kV/mm lebih kecil daripada kuat medan tembus (E_d) pada luas pelat 600 cm² yaitu sebesar 2,93 kV/mm.

4.6 Pengaruh Letak Elektroda Pelat pada Finial terhadap Tingkat Tegangan

Pengujian terhadap pelat dengan letak 1,5 cm dan 10 cm dari ujung finial menunjukkan bahwa letak pelat berpengaruh terhadap intensitas tegangan korona dan tegangan tembus. Letak elektroda pelat yang lebih dekat dengan ujung finial akan menghasilkan tegangan korona yang lebih kecil dibandingkan dengan letak elektroda pelat yang lebih jauh dengan ujung finial sedangkan letak elektroda pelat yang lebih dekat dengan ujung finial akan menghasilkan tegangan tembus yang lebih besar dibandingkan dengan letak elektroda pelat yang lebih jauh dengan ujung finial. Hasil pengujian terhadap ketiga elektroda pelat menunjukkan

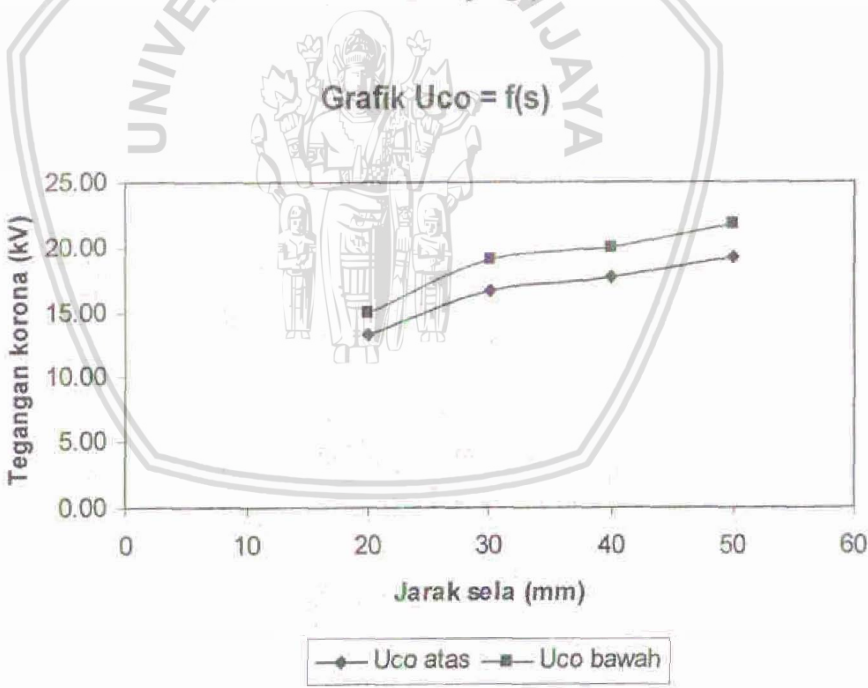
kecenderungan hasil yang sama, sehingga data yang akan dibahas pada pengujian letak elektroda pelat adalah penambahan elektroda pelat dengan bentuk persegi dengan luas pelat 600 cm^2 , tebal $0,5\text{ cm}$.

Data hasil pengujian tegangan korona dan tegangan tembus dengan bentuk pelat persegi luas 600 cm^2 , tebal $0,5\text{ cm}$ dan terletak $1,5\text{ cm}$ dan 10 cm dari ujung finial terlihat pada Tabel 4.12 dan grafik fungsi tegangan korona dan tegangan tembus terhadap jarak sela terdapat dalam Gambar 4.19 dan Gambar 4.20.

Tabel 4.12 Intensitas tegangan korona dan tegangan tembus dengan bentuk persegi luas pelat 600 cm^2 , tebal $0,5\text{ mm}$. ($t = 23^{\circ}\text{C}$ dan $p = 959\text{ mbar}$)

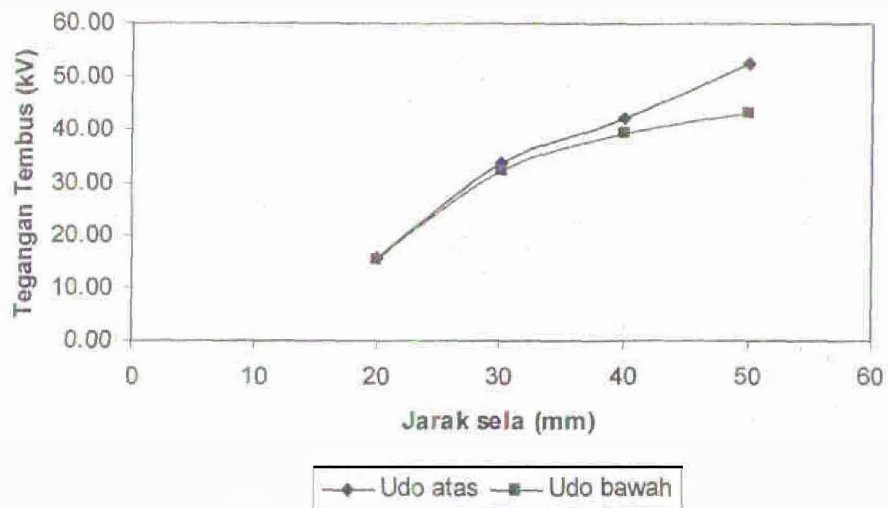
Jarak sela (mm)	Letak			
	1,5 cm		10 cm	
	U_{co} (kV)	U_{do} (kV)	U_{co} (kV)	U_{do} (kV)
20	13,23	15,57	14,33	15,13
30	16,60	33,83	19,53	32,13
40	17,63	42,23	20,03	39,23
50	19,23	52,53	21,80	43,20

Sumber : Hasil pengujian



Gambar 4.19 Grafik tegangan korona terhadap jarak sela dengan letak pelat $1,5\text{ cm}$ dan 10 cm dari ujung finial, bentuk persegi luas pelat 600 cm^2 , tebal $0,5\text{ mm}$
Sumber : Hasil perhitungan

Grafik Udo = f(s)



Gambar 4.20 Grafik tegangan tembus terhadap jarak sela dengan letak pelat 1,5 cm dan 10 cm dari ujung finial, bentuk persegi luas pelat 600 cm², tebal 0,5 mm
Sumber : Hasil perhitungan

Dari Gambar 4.19 terlihat bahwa dengan variasi letak elektroda pelat 1,5 cm dan 10 cm dari ujung finial intensitas tegangan korona lebih besar pada letak pelat 10 cm dari ujung finial dibandingkan dengan letak pelat 1,5 dari ujung finial.

Dari Gambar 4.20 terlihat bahwa dengan letak elektroda pelat 1,5 cm dan 10 cm dari ujung finial intensitas tegangan tembus lebih besar pada letak pelat 1,5 cm dari ujung finial dibandingkan dengan letak pelat 10 cm dari ujung finial. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada letak pelat 10 cm dari ujung finial menghasilkan efisiensi medan listrik (η) sebesar 49% dimana lebih kecil daripada efisiensi medan listrik (η) pada letak pelat 1,5 cm dari ujung finial yaitu sebesar 54 %. Dan kuat medan tembus (E_d) pada letak pelat 10 cm dari ujung finial yaitu sebesar 1,76 kV/mm lebih kecil daripada kuat medan tembus (E_d) pada luas pelat 600 cm² yaitu sebesar 1,94 kV/mm.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis penambahan elektroda pelat pada finial dapat ditarik kesimpulan yaitu:

- Semakin besar luasan elektroda pelat maka semakin kecil tegangan korona (U_c) dan semakin besar tegangan tembus (U_d)
- Semakin dekat letak elektroda pelat terhadap ujung finial maka semakin kecil tegangan korona (U_c) dan semakin besar tegangan tembus (U_d)
- Semakin besar luasan elektroda pelat maka efisiensi medan listrik semakin besar dan semakin dekat letak pelat dari ujung finial maka efisiensi medan listrik semakin besar.
- Pengaruh bentuk dan tebal pelat terhadap tegangan korona dan tegangan tembus tidak signifikan

5.2 Saran

- Dari hasil pengujian maka disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan variabel uji yang lebih banyak yaitu luas elektroda pelat, letak elektroda pelat, bentuk elektroda pelat dan tebal elektroda pelat
- Dilakukan pemodelan terhadap elektroda pelat dengan menggunakan software komputer agar didapatkan analisis yang lebih teliti

H a l —



DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A., Prof. Dr. 1994. *Teknik Tegangan*. Jakarta: Pradnya Paramita, Jakarta
- Dhofir, Moch. 1997. *Diktat Gejala Medan Tinggi Jilid I dan II*. Malang: Teknik Elektro Fakultas Teknik UNIBRAW.
- Hayt, William G., Jr. 1982. *Elektromagnetika Tehnologi. Edisi keempat*. Alih bahasa Houw Liong, PG.D. Jakarta:
- Hermagasantos. 1994. *Teknik Tegangan Tinggi, Teori dan Pegangan untuk Laboratorium*. Jakarta: PT. Rosda Jayaputra.
- Kind, Dieter. 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Kind Dieter. 2001. *High Voltage Test Techniques*. New Delhi : Replika Press
- Kuffel, E., Zaengl, W.S. 1984. *High Voltage Engineering*. London: Pergamon Press.
- Pratt, Thomas.H.2000. *Electrostatic Ignitions of fires and explosions*, New York : ccps



Nama : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.
 NIP : 132 143 040
 Kantor/Unit Kerja : Fakultas Teknik Unibraw
 Alamat Kantor/Unit Kerja : Jl. MT. Haryono 167 Malang
 Kode Pos 65145
 Telepon/Faksimile/E-mail : 0341 554166 / 554166
 rininurhasanah@yahoo.co.uk
 Bidang Keahlian : Teknik Energi Elektrik, Energi, Elektromekanik

Pendidikan:

No.	Tempat Pendidikan/Kursus	Kota/Negara	Tahun Lulus/Pelaksanaan	Bidang Studi
1	S3 – EPFL	Lausanne/Switzerland	2005	Elektromekanik
2	S2 - EPFL	Lausanne/Switzerland	2001	Energi
3	S1 - ITB	Bandung/Indonesia	1994	Teknik Energi Elektrik

Pengalaman Penelitian/Pengabdian Masyarakat:

No.	JUDUL PENELITIAN/PENGABDIAN MASYARAKAT	Tahun
1	'Pelatihan Elektronika Pembuatan Amplifier di SMA Ar-Rohmah Jl. Raya Apel 61 Desa Sumber Sekar Kec. DAU Kabupaten Malang', Pengabdian Masyarakat, Dana Pembinaan Pendidikan Universitas Brawijaya Malang, Surat Perjanjian No. 002/J10.1.31/PM/2006	2006
2	'Peningkatan Kualitas dan Kuantitas Produk Perbengkelan Las dengan Rancang Bangun Mekanik Pelengkung Pipa', Pengabdian Masyarakat, Dana Pembinaan Pendidikan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Surat Perjanjian No. 003/J10.1.31/PM/2006 Tanggal 19-5-2006	2006
3	A Contribution to Energy Saving in Induction Motors. Doctoral thesis in the field of electromechanics at the Swiss Federal Institute of Technology Lausanne Switzerland under the supervision of Prof. Marcel Jufer	2005
4	'Pendidikan dan Pelatihan Ketrampilan Dasar Penggunaan Komputer Berbasis Windows Bagi Guru dan Karyawan SMP 1 Driju, Sumbermanjing Wetan, Malang', Pengabdian Masyarakat, Dana Pembinaan Pendidikan Universitas Brawijaya Malang, Kontrak No. 52/PT.13.H4.FT/P9/97 Tanggal 17 Mei 1997	1997
5	'Penyelesaian Persamaan Linier Menggunakan Rangkaian Penguat Kerja (The Solution of Linear Equation System by Using Operational Amplifier Circuits)', Penelitian oleh Ir. Nurussa'adah dan Rini Nur Hasanah, S.T., Dana Pembinaan Pendidikan (DPP) Universitas Brawijaya dengan Kontrak No. 115/PT13.H4.FT/N4/97 Tanggal 21 Mei 1997	1997

Publikasi/Pemateri:

No.	Judul Publikasi/Materi	Tahun
1	R. N. Hasanah dan Chairuzzaini, 'Penerapan Metode Pemetaan Schwarz-Christoffel dalam Penentuan Induktansi Bocor Alur Mesin Tak Serempak', Jurnal Teknologi Elektro dan Kejuruan TEKNO, Teknik Elektro Universitas Negeri Malang, Volume 7 Nomor 1, Februari 2007, ISSN 1693 – 8739.	2007
2	Rini Nur Hasanah, 'A Study of Rotor Slot-Leakage Inductance to Avoid the Switching-off Failure Phenomenon in a Certain Group of Capacitor Motors', Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik SISTEM, Fakultas Teknik Universitas Wisnuwardhana, Volume 2 Nomor 3/Desember 2006, ISSN 0216-7131	2006

3	R-N. Hasanah, M. Marković, M. Jufer and Y. Perriard, "Slot-Leakage Inductance Determination using Schwarz-Christoffel Mapping", <i>Electrimacs 2005</i> , Hamamet (Tunisia), 17-20 April 2005, paper 161.	2005
4	Rini Nur HASANAH, Miroslav MARKOVIĆ and Marcel Jufer, "A Contribution to Electric Machines Design Course in Electrical Engineering Education in Indonesia", <i>Indonesian Student's Scientific Meeting (ISSM) 2004</i> , Aachen (Germany), 7-9 October 2004, paper OP03. ISSN 0855-8692	2004
5	R-N. Hasanah and M. Jufer, "Avoiding the Switching-off Failure in Capacitor Motors", <i>International Conference on Electrical Machines (ICEM) 2004</i> , Cracow (Poland), 5-8 September 2004, paper OS16-6. CD Conference Proceeding: ISBN 83-921428-0-2, Conference Proceeding: ISBN 12-345678-90, Book of Digests: ISBN 83-921428-4-5	2004
6	R-N. Hasanah, "Using Flux2D in Understanding Induction Motor Design and Operation", <i>Seminar on Electric Machines and Power Electronics 2002 – Semarang (Indonesia)</i> , organized by the Indonesian Society of Electric Machines and Power Electronics Engineers. Conference Proceeding: ISBN 979-97123-0-0	2002

Malang, September 2007

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.



Nama : Drs. Ir. Moch Dhoir, M.T.
 Tempat, tanggal lahir : Jember, 1 Juli 1960
 Jenis kelamin : Laki-laki
 Pangkat/Golongan : Lektor /III-d
 Alamat rumah : Jl. Jagung. Suprpto IE/246 Malang
 Kantor/Unit Kerja : Fakultas Teknik Unibraw
 Alamat Kantor/Unit Kerja : Jl. MT. Haryono 167 Malang
 Kode Pos 65145
 Telepon/Faksimile/E-mail : 0341 554166 / 554166
 dhofir@yahoo.com
 Bidang Keahlian : Teknik Energi Elektrik, Teknik Tegangan Tinggi

Pendidikan:

No.	Tempat Pendidikan /Kursus	Kota/Negara	Tahun Lulus/ Pelaksanaan	Bidang Studi
1	S2 - ITB	Bandung/Indonesia	2001	Teknik Tegangan Tinggi
2	S1 - UB	Malang/Indonesia	1988	Teknik Energi Elektrik

Pengalaman Penelitian/Pengabdian Masyarakat:

No.	JUDUL PENELITIAN/PENGABDIAN MASYARAKAT	Tahun
1	Pengembangan Potensi Energi Dan Sumber Daya Mineral Untuk Percepatan Pembangunan Kawasan Perbatasan Nusa Tenggara Timur – Negara Timor Leste	2004
2	Studi Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang (20 tahun) Kabupaten Bojonegoro	2004
3	Kelayakan Minyak Kelapa Dan Kelapa Sawit Sebagai Dielektrik Cair	2004
4	Realisasi Arester Kancing Untuk Proteksi Peralatan Tegangan Rendah Terhadap Tegangan Lebih	2003
5	Perencanaan Dan Pembuatan Transduser Rogowsky Untuk Pengukuran Arus Impuls 8/20 μ s	2003
6	Penggunaan Kapasitor dan Induktor sebagai Absorber Gelombang Surja Tegangan	2002
7	Studi Peluang Kegagalan Isolator Saluran Transmisi 150 KV menggunakan Pendekatan Probabilistik-Statistik	2001
8	Impedansi Transfer Metal Pembumian Dalam Kondisi Transien	2000

9	Pengaruh Struktur Metal Pembumian Dalam Meredam Tegangan Interferensi Pada Sistem Elektronik	2000
10	Pengujian Karakteristik Tegangan Potong Arrester untuk Sistem Tegangan Rendah	1999
11	Pengaruh Letak Sisipan Kertas Tipis Terhadap Batas Tegangan Tembus Pada Suatu susunan Elektroda Silinder Konsentrik	1999

Malang, September 2008

Drs. Ir. Moch Dhofir, M.T.

1100106

